

EP03/6025



REC'D 01 AUG 2003

WIPO PCT
 EPO-BERLIN

08-07-2003

28 DEC 2004

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
 einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 28 358.3

Anmeldetag: 25. Juni 2002

Anmelder/Inhaber: Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Simulation eines Auftragabwicklungsprozesses zur Herstellung eines komplexen Produktes

IPC: G 06 F 17/60

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. Juni 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
 Der Präsident
 Im Auftrag

W. Wehner

PRIORITY DOCUMENT
 SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
 COMPLIANCE WITH
 RULE 17.1(a) OR (b)

W. Wehner

BEST AVAILABLE COPY

Verfahren und Vorrichtung zur Simulation
eines Auftragsabwicklungsprozesses zur
Herstellung eines komplexen
Produktes

Aufgabe der Erfindung

Simulation ^{ist} die Nachbildung eines dynamischen
Prozesses in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirk-
lichkeit übertragbar sind.

Simulation als Hilfsmittel zum Um-
gang mit der Realität. ^{wird} definiert

Simulation ist ein Hilfsinstrument, um ein Abbild dynamischen Verhaltens von
Systemen der Realität in einem Modell zu generieren. Konkret geht es um die
Untersuchung des Systemverhaltens bei sich ändernden Umweltzuständen. Das
Interesse der Anwender an der Simulation dynamischer Systeme läßt sich mit der
Intention, kaum überschaubare, komplexe Entwicklungen der realen Welt zu mo-
dellieren, begründen. Ziel ist es, diese Komplexität zu verstehen und in Folge des-
sen zu beherrschen. Unklarheiten bezüglich des Verhaltens dynamischer Systeme
unter veränderlichen Umweltzuständen können mittels Simulation schneller
und einfacher beseitigt werden.

Die Komplexität realer dynamischer Systeme erschwert die Erfassung der Wirk-
zusammenhänge zwischen den Einflußfaktoren. Die Modellbildung im Rahmen
einer Simulationsstudie ermöglicht eine Reduktion der Komplexität mittels kom-
parativ - statischer Analyse. Hierbei wird sukzessive die Quantität der Beein-
flussung auf den Untersuchungsgegenstand durch die betrachteten Einflußparame-
ter gemessen. Vorteilhaft erweist sich die Funktionalität von Simulations-

instrumenten, den Grad der Beeinflussung isoliert zu betrachten und zu bewerten. Weiterführend kann eine Verbesserung durch die Variation von Einflüssen, die parallel auf das System einwirken, resultieren.

Gegenstand der *Erfindung* ist die Simulation des Auftragsabwicklungsprozesses *zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere* Maßgebliche Kennzahlen zur Bewertung *[*]* des Prozesses sind Lieferzeit und Liefertreue. Im Rahmen einer empirischen Untersuchung an einem ausgewählten Beispiel sollen Optimierungspotentiale aufgezeigt und Entscheidungsalternativen diskutiert werden.

[eines Automobilherstellers]

Anwendungsfelder der Simulation

Simulation als Hilfsmittel zur Abbildung dynamischer Systeme wird in unterschiedlichen Bereichen der Arbeitswelt genutzt. Sowohl ökonomische, soziologische als auch ökologische Fragestellungen können mit Hilfe von Simulation untersucht werden.

Folgende Bereiche bilden den Schwerpunkt beim Einsatz von Simulatoren:²³³

- in der Wissenschaft, um Systemverhalten zu untersuchen
- im technischen Bereich bei der Systementwicklung
- im Systemmanagement
- in der Entwicklungsplanung

Verallgemeinernd lassen sich folgende Gründe für den Einsatz von Simulation zusammentragen:²³⁴

Simulation kommt zur Anwendung, wenn

- Neuland beschritten wird
- die Grenzen analytischer Methoden erreicht sind
- komplexe Wirkzusammenhänge die menschliche Vorstellungskraft überfordern
- das Experimentieren am realen System nicht möglich bzw. zu kostenintensiv ist
- das zeitliche Ablaufverhalten einer Anlage untersucht werden soll

Ziele beim Einsatz von Simulation in Produktion und Logistik sind u. a.:

- Verbesserung der Planungsqualität und Planungssicherheit
- Generierung eines Verständnisses für das System und Beherrschung der Systemkomplexität

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht erlangt die Simulationstechnik als Hilfsmittel bei der Entscheidungsfindung eine immer größer werdende Bedeutung. Entscheidungsalternativen können im Vorfeld simuliert werden. Simulationsergebnisse geben Aufschluß über die Folgen der jeweiligen Entscheidung bezogen auf das gesamte System. Mögliche Fehlentscheidungen können somit ex ante vermieden werden.

Zusammenfassend kommen Simulationstools in der Regel dort zum Einsatz, wo mit vergleichsweise geringem Aufwand relativ zuverlässige Aussagen über das Verhalten komplexer, dynamischer Systeme getroffen werden können.

Vorteile der Simulation

Bezüglich der Vorteile von Simulation können folgende Bereiche identifiziert werden:

Systemverständnis

- Parametersensitivitäten
- Begründbarkeit und Überprüfbarkeit der gewählten Lösung
- Vermeidung und Eliminierung von Engpässen
- dynamische Analyse und Darstellung des gesamten Ablaufs

Kostengünstige Lösung

- Optimierung von Abläufen
- Einsparung oder Vereinfachung von Systemelementen
- Optimierung von Puffergrößen und Lagerbeständen

Sicherheitsgewinn

- Bestätigung der Planungsvorhaben
- Minimierung des unternehmerischen Risikos

- Funktionalität des geplanten Systems
- Funktionalität der Steuerung

4.4 Nachteile der Simulation

Die Akzeptanz von Simulation in der Praxis ist im starken Maße von der Entwicklung der PC – Technologie abhängig. Für den Anwender maßgeblich bei der Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Rechnern, ist die Verringerung des zeitlichen Aufwandes für das Durchführen von Simulationsexperimenten.

Wenn man jedoch die rasante Entwicklung auf diesem Gebiet in den vergangenen Jahren betrachtet, kann vermutet werden, daß dieser Engpaß mittelfristig behoben sein wird.

Einen weiteren Nachteile stellt die oftmals aufwendige Softwareprogrammierung dar. Einerseits steht den Anwendern eine relativ umfangreiche Auswahl an Standard – Simulationswerkzeugen zur Verfügung. Diese sind bereits für die Untersuchung zahlreicher Problemstellungen geeignet. Andererseits bedarf es in bestimmten Fällen der Entwicklung einer speziellen Software, da die in der Standard – Software implementierten Algorithmen nicht immer die Komplexität von realen Systemen nachbilden können. Ebenfalls von Nachteil ist der Umstand, daß Modelle, die auf Basis unterschiedlicher Simulationswerkzeuge erstellt wurden, i. d. R. nicht miteinander kompatibel sind.²³⁵ Nachteilig ist auch der zeitliche Aufwand, der durch die Modellbildung verursacht wird. Der Anwender muß sich mit dem jeweiligen Tool vertraut machen und einen gewissen Umfang an Eingaben selbst vornehmen.

Der Aufwand für die Durchführung von Simulationsexperimenten kann erheblich verringert werden, wenn sogenannte Referenzmodelle verwendet werden können.²³⁶ Referenzmodelle enthalten z. B. vorgefertigte Bausteine. Beispiele für Bausteine sind Maschinen, Transportmittel oder Lager.

Diese Bausteine können in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung spezifisch kombiniert werden. Der Modellierungsaufwand des Anwenders beschränkt sich dann auf die Parametrisierung der Funktionalitäten der verwendeten Bausteine. Mit Hilfe dieses Prinzips kann die Modellerstellung erheblich beschleunigt werden.

Insbesondere bei sehr komplexen Sachverhalten wird es im Rahmen der Modellbildung erforderlich, von der Wirklichkeit zu abstrahieren. Eine detailgetreue Nachbildung des realen Systems ist in den meisten Fällen nicht möglich. In diesem Kontext ist zu prüfen, welche Aussagekraft das Modell über die Realität aufgrund des gewählten Abstraktionsgrades besitzt. Letzteres beeinflusst entscheidend die Beurteilung der Simulationsergebnisse und damit den Nutzen der Methode Simulation generell.

Die Festlegung des Abstraktionsgrades bei der Modellbildung ist Bestandteil der Simulationsstudie. Der Ablauf einer Simulationsstudie wird im Anschluß beschrieben.

4.5 Ablauf einer Simulationsstudie

Die Abbildung 15 zeigt schematisch den Ablauf bei der Durchführung einer Simulationsstudie.

Im Unterschied zu der Darstellung von Sauerbier berücksichtigt die obige Grafik die Problematik, daß ein Modell nach erfolgter Verifizierung und Validierung gegebenenfalls angepaßt werden muß.

Nachfolgend werden die einzelnen Bestandteile einer Simulationsstudie kurz erläutert.

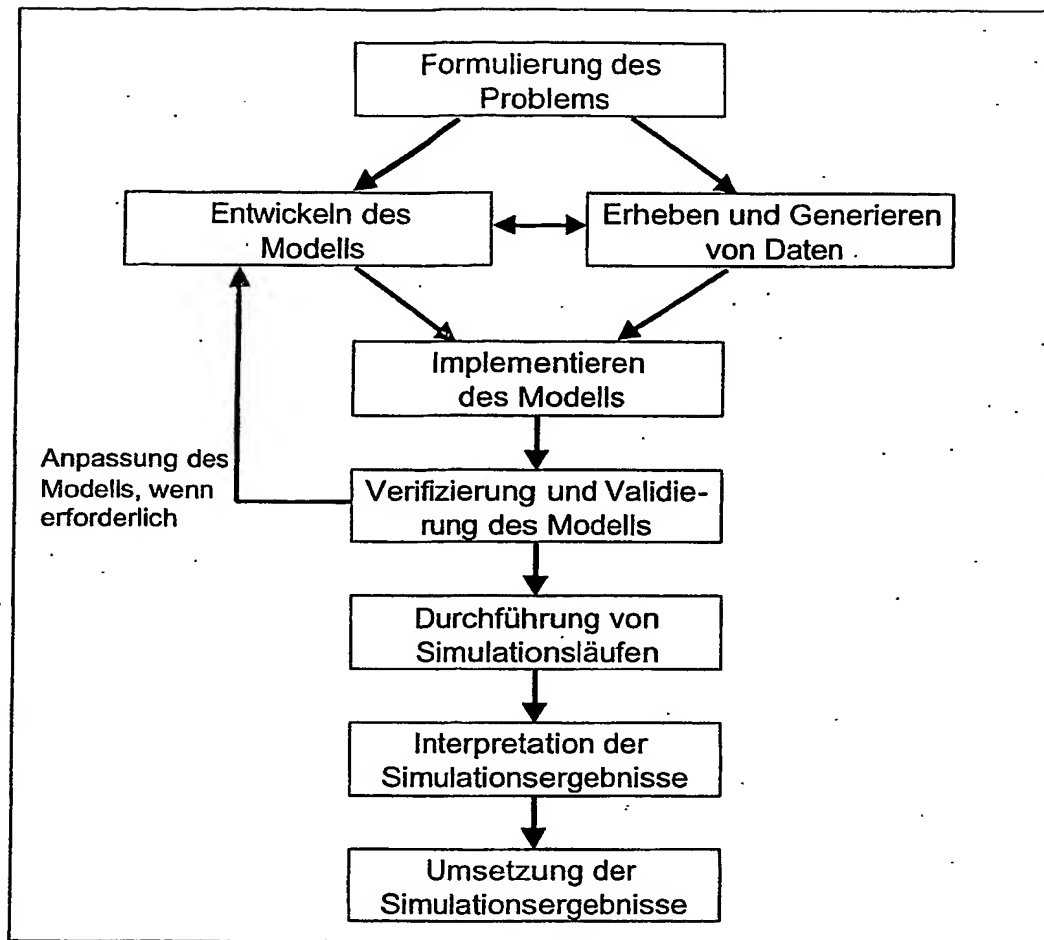


Abbildung 15: Ablaufschema einer Simulationsstudie²³⁷

4.5.1 Formulieren des Problems

Im Rahmen der Problemdefinition ist zu klären, welche Fragestellung mittels Simulation untersucht werden soll. Dieser Aspekt ist insbesondere für die Abgrenzung von relevanten und für die Beantwortung der Problemstellung irrelevanter Bereiche des im Modell abzubildenden realen Systems von Bedeutung. In Abhängigkeit von der Fragestellung ist festzulegen, welche Einflußparameter des Systems in dem Modell berücksichtigt werden müssen. Im Anschluß an die Klärung dieses Sachverhaltes kann bestimmt werden, welcher Detaillierungsgrad bei der Modellerstellung erforderlich ist, um qualifizierte Aussagen bezüglich der Problemstellung treffen zu können.

Je nach Abstraktion kann der Aufwand für die Modellbildung abgeleitet werden.

4.5.2 Entwickeln des Modells

Um die im ersten Schritt definierte Problemstellung in einem Modell geeignet abzubilden, sind die relevanten Eingangsgrößen zu systematisieren. Darüber hinaus ist zu diskutieren, welche Parameter das System maßgeblich beeinflussen. Im Anschluß daran, sind die relevanten Einflußparameter zu klassifizieren. Im Rahmen der Systemanalyse sind insbesondere die dynamischen Parameter von Interesse. Die Bestimmung der Quantität der Systembeeinflussung eines einzelnen Parameters wird durch die Sensitivitätsanalyse unterstützt.

Die folgende Abbildung 16 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Eingabe- und Ausgabedaten.

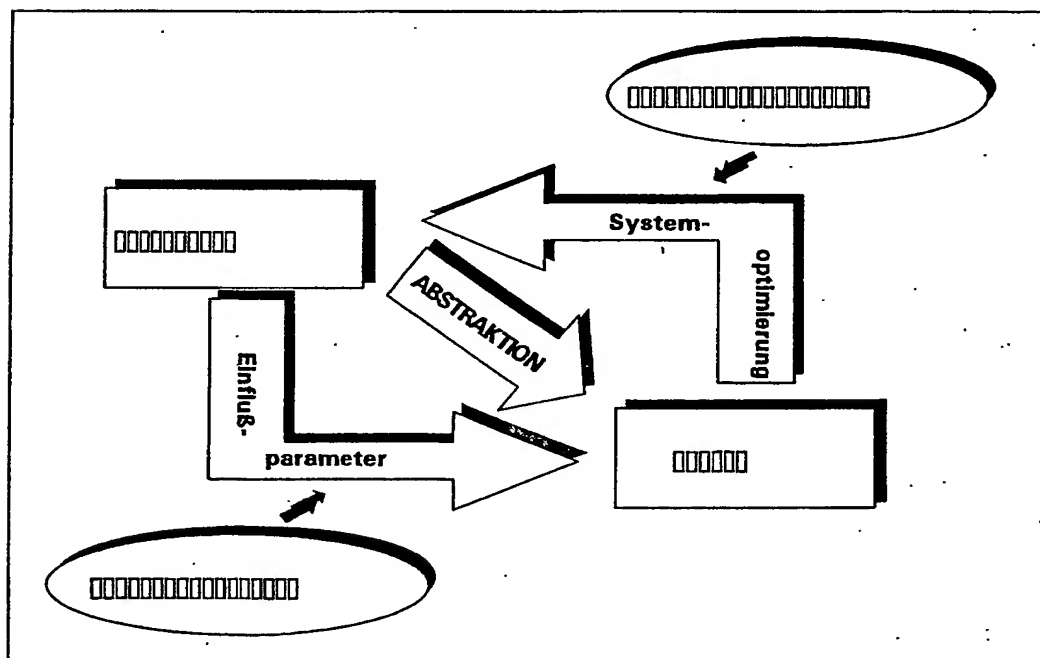


Abbildung 16: Wechselwirkung zwischen den Systemparametern²³⁸

Abhängigkeiten zwischen den Eingangs- und Ausgangsgrößen sind als Kennzeichen des Systemverhaltens bei der Modellentwicklung zu berücksichtigen.

Parallel zu der Modellentwicklung erfolgt die Erhebung der benötigten Inputdaten.

... Implementieren des Modells

Nach der Entwicklung des formalen Modells ist die Überführung der Inhalte des Modellkonzeptes in das Computerprogramm vorzunehmen.

Während der Modellkonzeption wurden die Systembestandteile heraus gearbeitet, die in dem Modell abgebildet werden müssen. Diese sind geeignet und in der erforderlichen Detaillierung auf das Modell zu übertragen.

Bei der Implementierung kann eventuell auf marktgängige Standardsimulationstools zurückgegriffen werden. Viele dieser standardisierten Simulationswerkzeuge beruhen auf dem sogenannten Bausteinprinzip. Der Vorteil derartiger Tools besteht in der Universalität der Anwendungsfelder. Bei komplexen Problemstellungen ist i. d. R. jedoch die Programmierung eines speziellen Simulationswerkzeuges erforderlich.

... Verifizierung und Validierung

Im Anschluß an die Modellimplementierung ist sowohl eine Verifizierung als auch die Validierung des Modells vorzunehmen. Verifizierung ist die Überprüfung der einzelnen Schritte des Modellierungsprozesses. Das heißt, es wird geprüft, ob die im Rahmen der Modellkonzeption formal erarbeiteten Modellzusammenhänge auch tatsächlich in dem Computermodell implementiert wurden.

Im Gegensatz dazu umfaßt die Validierung des Modells die Frage, ob die Realität, bezogen auf die Zielsetzung der Simulation, in dem Modell geeignet und richtig abgebildet wird. Einfach ist die Validierung in den Fällen, wo ein real existierendes System zu modellieren ist. Zunächst ist der Zustand des realen Systems in einem Modell abzubilden. Geeignet ist das Modell dann, wenn die Simulationsergebnisse unter der Voraussetzung vergleichbarer Parametereinstellungen mit de-

nen des realen System übereinstimmen. Das Modell muß das Verhalten des realen Systems genau genug und fehlerfrei abbilden

Vereinfachend ausgedrückt, bedeutet Validierung die Überprüfung, ob die richtigen Dinge in dem Modell abgebildet werden, während im Rahmen der Verifizierung überprüft wird, ob die Dinge richtig abgebildet werden.

Für den Fall, daß im Anschluß an die Verifizierung und/ oder die Validierung Zweifel an der Richtigkeit des Modells begründet sind, muß die Simulationsstudie in diesem Stadium unterbrochen werden. An dieser Stelle erfolgt die Rückkopplung zur Modellentwicklung. Abbildung 17 verdeutlicht den Zusammenhang von Modellverifizierung und Modellvalidierung.

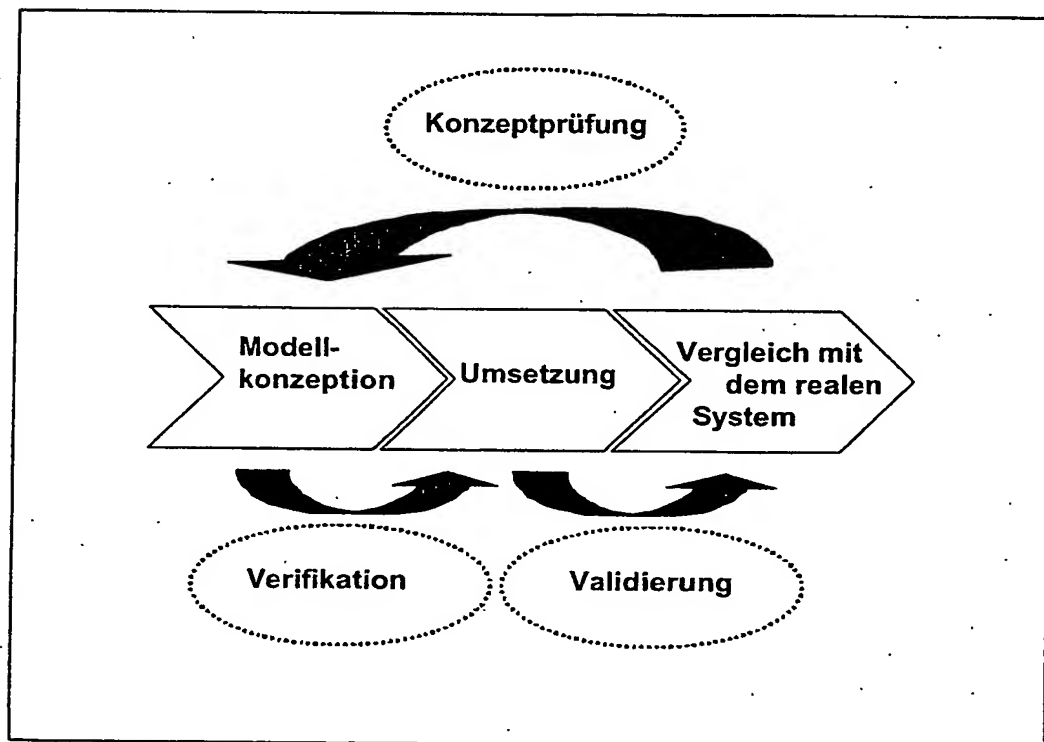


Abbildung 17: Verifizierung und Validierung von Simulationsmodellen²⁴¹

Durchführen und Auswerten von Simulationsläufen

Nachdem die Qualitätsprüfung erfolgreich abgeschlossen wurde, kann mit der Durchführung der Experimente begonnen werden.

Bei der Auswertung der Ergebnisse der Simulationsläufe sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen. Folgende statistische Gesetzmäßigkeiten sind zu beachten:

- Werden dynamische Prozesse simuliert, benötigt das modellierte System, eine bestimmte Zeit des „Einschwingens“, bis die Stabilität des Modells gegeben ist (die Werte aus der Phase der sogenannte „warming up“ – Periode sind von der Gesamtauswertung auszuschließen).
- Charakteristisch für Simulationsexperimente mit stochastischen Verteilungsfunktionen ist die Unabhängigkeit der Simulationsläufe.

Um die Genauigkeit der Ergebnisse von Simulationsläufen mit stochastischen Verteilungsfunktionen zu erhöhen, werden n - Replikationen von Simulationsexperimenten mit der selben Parametereinstellung durchgeführt und ein Durchschnittswert über n ermittelt.

Eine andere Methode ist die Vorgabe eines Konfidenz- oder Vertrauensintervalls. Dieses Intervall begrenzt den Bereich, in dem der wahre zu ermittelnde Wert mit bestimmter Wahrscheinlichkeit liegt.

Interpretieren der Simulationsergebnisse

Nachdem die Simulationsläufe durchgeführt wurden, müssen die Ergebnisse interpretiert werden. Anhand der Simulationsexperimente kann der Anwender zu Erkenntnissen über das Verhalten des realen Systems gelangen. Die Interpretation sollte jedoch immer vor dem Hintergrund der vorgenommenen Abstraktion erfolgen.

Einsatz der Simulationsergebnisse

In Unternehmen durchgeführte Simulationsexperimente dienen i. d. R. als Entscheidungshilfen für Managemententscheidungen. Insbesondere die Ergebnisse operativ eingesetzter Simulationswerkzeuge beeinflussen reale Entscheidungen.

Die Qualität der Ergebnisse ist in diesem Zusammenhang eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz des Anwenders.

Modellierung des Auftragsabwicklungsprozesses

□

5.1 Der Auftragsabwicklungsprozeß

5.1.1 Teilprozesse der Auftragsabwicklung

□

Der Auftragsabwicklungsprozeß umfaßt alle Teilprozesse von der Kundenbestellung bis zur Auslieferung des Fahrzeugs an den Kunden. Die Teilprozesse der Auftragsabwicklung sind:

- | | |
|------------------|--|
| Bestellannahme: | Händler und Kunde erzielen eine Übereinkunft über Fahrzeugtyp, Ausstattung und Liefertermin. Bestellt der Kunde das Fahrzeug zu den vereinbarten Bedingungen wird der Auftrag an den Vertrieb des Herstellers weitergeleitet. |
| Programmplanung: | Kunden- und Händleraufträge werden unter Berücksichtigung bestehender Restriktionen eingeplant. |
| Fertigung: | Nach dem ein Auftrag einem Werk zugeordnet und in ein Wochenprogramm eingeplant wurde, werden die Fahrzeuge entsprechend des Produktionsprogramms gefertigt |
| Distribution: | Nach Fertigstellung und Endabnahme des Fahrzeugs im Werk wird das Fahrzeug verladen und in ein Zwischenlager oder direkt zu dem entsprechenden Händler transportiert. Im Anschluß daran erfolgt die Übergabe des Fahrzeugs an den Händler. |

Zuvor wird der Marktbedarf prognostiziert. Auf Basis dieser Prognose wird nach der Überprüfung der vorhandenen Kapazitäten die Mengenplanung durchgeführt. Diese Planung erfolgt sowohl für Fahrzeuge als auch für Eigenschaften. Aufgrund der Mengenplanung kann der Teilebedarf ermittelt werden. Des weiteren legt die

Mengenplanung die Bandbreiten für die Einplanung von Aufträgen fest. Um die Lieferzeiten signifikant zu reduzieren, sind innovative Lösungen erforderlich. Das Potential für eine Verkürzung der reinen Fertigungszeit ist weitestgehend ausgeschöpft.

Die Prozeßstruktur

Ein Lösungsansatz ist die Implementierung einer neuen Prozeßstruktur. Dabei ist z. B. die Substitution einer sequentiellen Prozeßarchitektur durch eine simultane, Prozeßarchitektur eine Möglichkeit der Neugestaltung der Prozeßstruktur. Hierbei greifen die einzelnen Kettenglieder systematisch ineinander.

Ein wesentlicher Kernpunkt dieser Bemühungen ist die Einführung eines Prozesses, bei dem ein in der Auftragssteuerung befindliches Fahrzeug möglichst spät einem konkreten Kunden zugeordnet werden kann.

Die Abbildung 18 stellt beide Prozeßstrukturen vergleichend gegenüber.

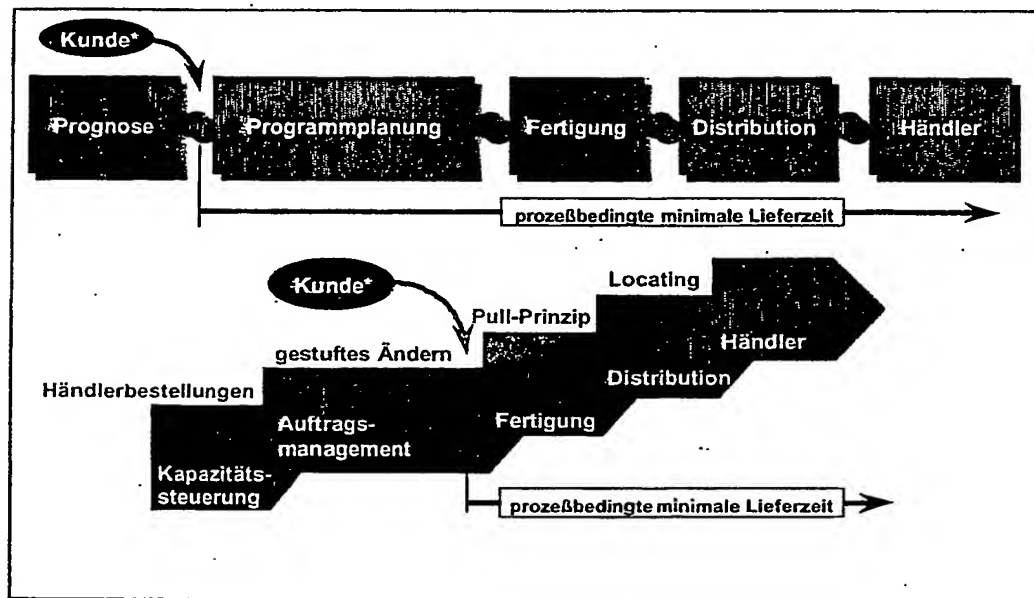


Abbildung 18: sequentielle vs. simultane Prozeßarchitektur

G wird berücksichtigt

ist die Umstellung der Fahrzeugeinplanung in den Werken von einer ZP8-Woche auf einen ZP8-Tag.²⁴⁸ Dieser Prozeß wird als „Tagesorientierung“ bezeichnet. Im Gegensatz zu der klassischen Auftragsabwicklung kann der Prozeß „Tagesorientierung“ die zeitliche Verlagerung des Einfrierzeitpunktes (EZP) des Auftrags ermöglichen.

Eine Änderung der Spezifikation des Auftrags ist in Abhängigkeit von der zu verändernden Eigenschaft u. U. bis kurz vor Fertigungsbeginn zulässig.

Die Einführung dieses Prozesses erfordert die Erfüllung bestimmter Voraussetzungen. Beispielsweise ist die Stabilität der Freigabe von Einsatzterminen zu gewährleisten. Des weiteren dürfen die Vorlaufzeiten für die Beschaffung der Teile nicht außerhalb des Zeitfensters für die Änderung der Spezifikation des Auftrags liegen. Ansonsten reduzieren sich die Änderungsmöglichkeiten auf geringe Eigenschaftsumfänge. Ansonsten würde der Vorteil, der aufgrund der Flexibilisierung der Auftragsabwicklung resultiert, nicht ausgeschöpft werden. Die Lieferzeiten könnten nicht signifikant gesenkt werden.

Der Vorteil der Tagesorientierung im Vergleich zu dem im Anschluß beschriebenen „2+2“ Prozeß ist bei ungestörten Aufträgen die Fixierung eines Auftrags in der Auftragssteuerung auf einen ZP8-Tag.²⁵¹

Aufgrund dieser Maßnahme resultiert eine konstante Sequenz von Aufträgen vor der Fertigung. Die Tagesorientierung stabilisiert und vereinfacht somit den Prozeß.

Eine konsequente Umstellung auf die modifizierte Prozeßstruktur würde u. U. Komplikationen verursachen. Aus diesem Grund wurden ... 1 diverse Prozeßstufen entwickelt, die einen gleitenden Übergang ermöglichen. Diese Prozeßstufen sind in Abbildung 19 dargestellt.

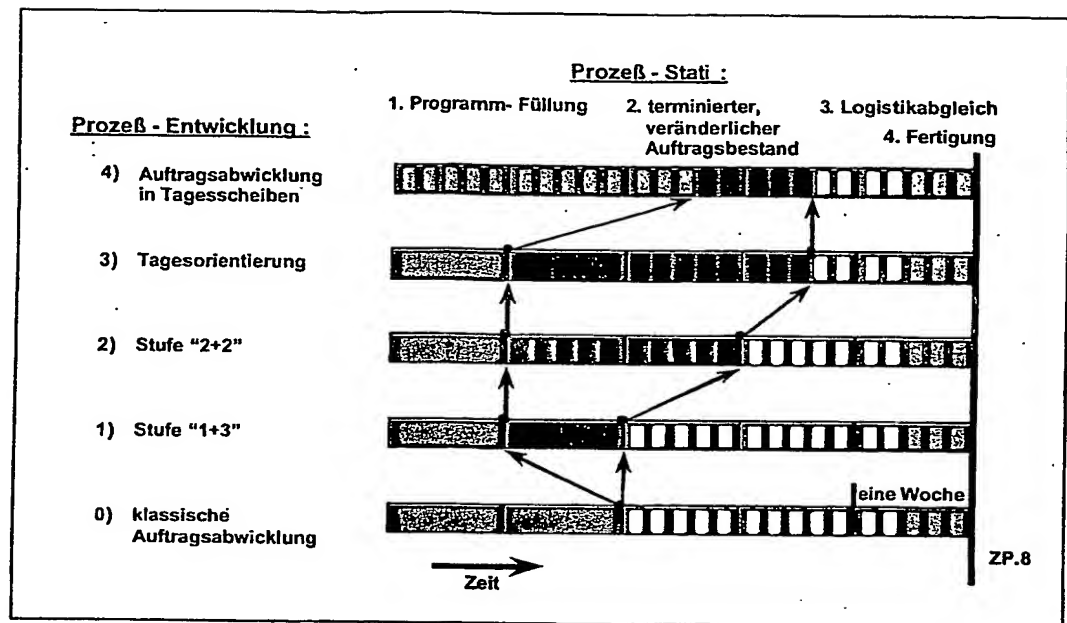


Abbildung 19: Mögliche Prozeßstufen ..

Durch schrittweise, evolutionäre Einführung der jeweiligen Prozeßstufe wird die Lieferzeit sukzessive reduziert.

Dieser Prozeß ermöglicht unter bestimmten Randbedingungen eine Durchlaufzeit von 14 Kalendertagen.

Gegenüber dem „1+3“ kann die Durchlaufzeit um eine Woche reduziert werden. Der Handel bestellt ein Fahrzeug spätestens vier Wochen vor dem geplanten Fertigungstermin (ZP8-Woche).

Auftragsänderungen sind bis ca. zwei Wochen vor ZP8-Termin möglich. Die Änderung eines Auftrags führt nicht zu einer Terminverschiebung. Der Handel kann einen Auftrag auch ohne konkrete Kundenbestellung in die Systeme einstellen. Die Eigenschaftsspezifikationen eines Händlerauftrags können dann entsprechend des Kundenwunsches bis zum Einfrierzeitpunkt geändert werden.

Simulation der Auftragsabwicklung

Begründung der Wahl des Verfahrens

Der Auftragsabwicklungsprozeß ^{bei der Herstellung von Fahrzeugen} ist ein sehr komplexes System mit zahlreichen unterlagerten Systembestandteilen und Querverbindungen, so daß die Beherrschung der Funktionsweise der einzelnen Kettenglieder des Prozesses im Rahmen einer Gesamtbetrachtung am realen Prozeß schwierig erscheint. Aus diesem Grund nutzt man das ^{noch zu beschreibende} Simulationswerkzeug. I. Der Auftragsabwicklungsprozeß wird in ein Modell übertragen und simuliert.

Ausgehend von der Bestrebung der Optimierung des Gesamtprozesses, können durch veränderte Parametereinstellungen Auswirkungen in allen Teilabschnitten der Prozeßkette ermittelt werden. Hierbei wird i. d. R. zunächst ein idealisierter Systemzustand modelliert. Das Ergebnis der Simulation dieses Referenzmodells bildet gewissermaßen den Benchmark für nachfolgende Simulationsläufe, wobei der Systemzustand nun dadurch variiert wird, daß in der Realität beobachtbare Ereignisse die Kontinuität des Prozeßablaufes behindern. Darüber hinaus können sogenannte „worst case“ – Studien durchgeführt werden. Hierbei wird ermittelt, bei welcher Konstellation bezüglich der Parametereinstellung das System instabil wird, d. h. die Funktionsfähigkeit des Systems gefährdet ist.

Am realen System ist diese Form der Systemanalyse nicht praktikabel, da diese Vorgehensweise sehr kostenintensiv wäre.

Allgemeine Beschreibung Modellaufbau

Überblick Gesamtmodell

Ein vollständiges Modell ist in die Teilbereiche Fahrzeugaufbau, Absätze, Planung, Märkte und Werke untergliedert.

Die folgende Abbildung 20 zeigt im Überblick die vollständige Struktur eines Simulationsmodells und die logischen Verknüpfungen der Systembestandteile.

Nachfolgend werden die oben erwähnten Bestandteile der Modellstruktur und deren Komponenten kurz erläutert. Parallel dazu wird gezeigt, wie die Gesetzmä-

sigkeiten des Realsystems in dem Modellaufbau implementiert sind. Im Anschluß daran wird die Vorgehensweise bei der Modellbildung anhand einer konkreten Simulationsstudie verdeutlicht.

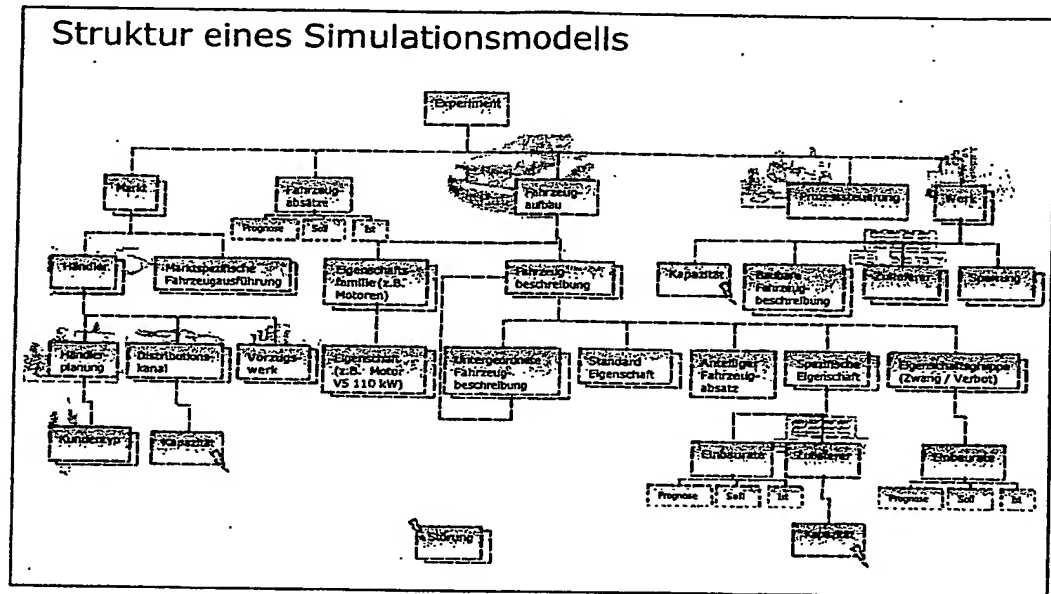


Abbildung 20: Struktur eines Simulationsmodells

Bestandteile des Modells

Die Absätze

Unter der Rubrik Absätze, ist ein Wertverlauf für den globalen, absoluten Absatz der betrachteten Fahrzeugklassen bezogen auf den Simulationszeitraum anzugeben. Je nach Fragestellung besteht die Möglichkeit, saisonale Absatzschwankungen zu definieren, in dem die Eingabe von Absatzzahlen beispielsweise auf Monatsbasis, anstatt aggregiert auf Basis eines Jahres, vorgenommen wird. Diese Funktionalität ist beispielsweise auch im Zusammenhang mit der Kennzahl „Atmenden Fabrik“ von Bedeutung.

Fahrzeugbeschreibung

Ein Fahrzeug wird durch einen *mehrstufigen* Modellschlüssel vollständig beschrieben. Bestandteile dieses Schlüssels sind Angaben zur Fahrzeugklasse (Plattform und Baureihe), die Bezeichnung der Karosserieform (Limousine, Variant usw.), die Ausstattungsstufe sowie die Bezeichnungen für Motor und Getriebe.

Hierarchisch dem Modellschlüssel untergeordnet, erfolgt über eine Liste sogenannter „PR-Nummern“²⁵⁴ die detaillierte Auflösung des Fahrzeugs. PR-Nummern werden zu „PR-Nummern Familien“ zusammengefaßt. Beispielsweise sind die PR-Nummern „ohne Airbag“ und „Airbag für Fahrer“ der PR-Nummern Familie „Airbag (Kurzbezeichnung AIB)“ zugeordnet. Jedes Fahrzeug wird durch genau eine PR-Nummer aus jeder PR-Nummern Familien eindeutig beschrieben. Diese Struktur wird auch im Aufbau des Modells berücksichtigt.

Länder- bzw. Marktspezifika bei der Fahrzeugbeschreibung sind gesondert zu definieren. Beispiele hierfür sind Fahrzeuge mit Rechtslenkung oder spezielle Abgasnormen.

Der Fahrzeugaufbau berücksichtigt unterschiedliche Ebenen. In der Abbildung 21 ist diese Struktur erkennbar.

In diesem Beispiel wurden die Ebenen Konzern (1. Ebene), Plattform (2. Ebene), Fahrzeugklasse (3. Ebene), Karosserieform (4. Ebene), Ausstattung (5. Ebene) und Länderkennzeichen (6. Ebene) berücksichtigt. Die Anzahl der Ebenen ist abhängig von dem Modellumfang. Wird beispielsweise lediglich eine Plattform oder nur eine Fahrzeugklasse einer Plattform betrachtet, können die betreffenden Ebenen entsprechend zusammengefaßt werden. Im umgekehrten Fall kann durch die Modellierung weiterer Ebenen der Detaillierungsgrad erhöht werden. Im Rahmen der Modellbildung ist ex ante festzulegen, in wie weit von der realen Struktur der Fahrzeugebenen abstrahiert werden kann.

Des weiteren sind auf allen Ebenen Einbauraten (EBR) zu definieren. Wird durchgängig jeweils nur eine Fahrzeugbeschreibung je Ebene modelliert, entspricht die EBR jeder Ebene 100%. Weitere Attribute jeder Ebene sind „PR-

Nummern Setzungen“, „PR-Nummern Spezifikationen“ und „PR-Nummern Gruppen“. Unter PR-Nummern Setzungen versteht man alle diejenigen Eigenschaften, die bereits in der Basisausstattung der jeweiligen Fahrzeugbeschreibung verbaut werden, wobei jeweils eine Eigenschaft einer PR-Nummern Familie als Setzung zu modellieren ist. Als PR-Nummern Gruppe wird die Kombination von Eigenschaften bezeichnet. Über diese Funktionalität könnten beispielsweise Zwänge und Verbote abgebildet werden. Die Notwendigkeit zur Bildung von Eigenschaftskombinationen könnte einerseits technisch bedingt sein. Andererseits lassen sich über diese Funktionalität auch Maßnahmen des Vertriebs abbilden.²⁵⁶ Aus diesem Grund kann der Kunde in einigen Fällen lediglich aus einer Vielzahl sogenannter Ausstattungspakete wählen, wodurch die Variantenvielfalt gesenkt und die Eigenschaftsprognose erleichtert wird.

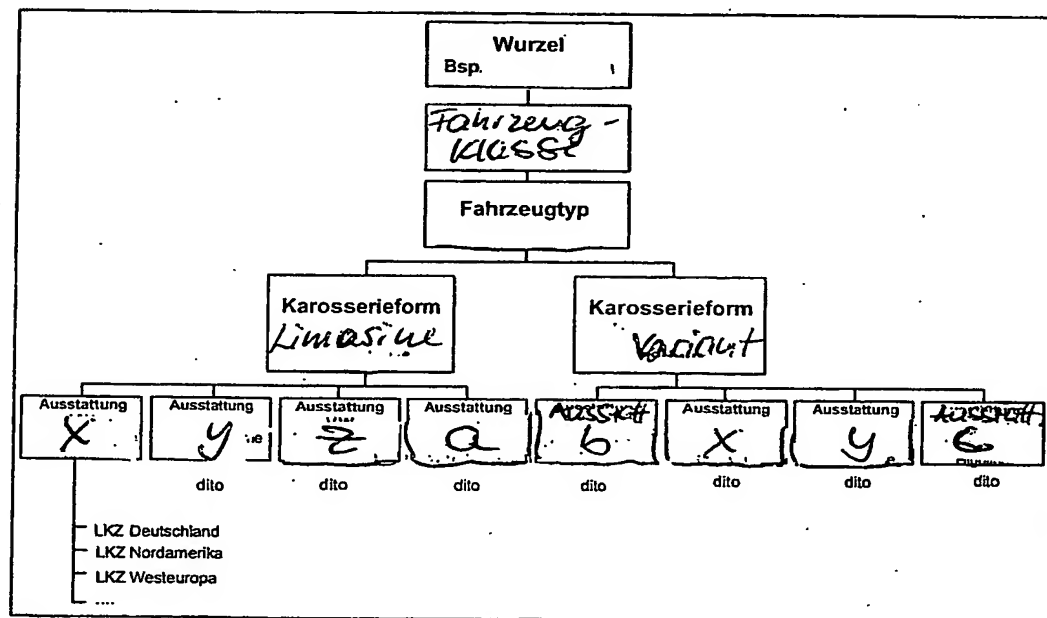


Abbildung 21: Ebenen der Fahrzeugbeschreibungen.

PR-Nummern Spezifikationen wiederum sind alle in dem Modell berücksichtigten Eigenschaften je Eigenschaftsfamilie, aus denen der Kunde sein Fahrzeug individuell konfigurieren kann.

Sowohl für die PR-Nummern Gruppen als auch für die PR-Nummern Spezifikationen sind jeweils Einbauraten zu definieren. Für die gesetzten Eigenschaften ist

die Eingabe einer EBR nicht erforderlich. Die EBR der jeweils gesetzten Eigenschaft ergibt sich aus der Differenz der Summe der EBR der nicht gesetzten Eigenschaften einer PR-Nummern Familie zu 1.

Prozeßsteuerung

Im Rahmen der Prozeßsteuerung wird der Zeithorizont für die Prognosen und die Einplanung der Fahrzeuge festgelegt. Die verschiedenen Prozeßstufen, wie sie in beschrieben wurden, lassen sich anhand von Terminserien parametrisieren. Über die Terminserien wird der rollierende Planungsrhythmus abgebildet. Dafür sind Zeitpunkte und die entsprechenden zeitlichen Abstände der Ereignisse während des Planungsprozesses zu definieren.

Märkte

Bei den Märkten wird zwischen dem Händlern (Inlandsmarkt) und Importeuren differenziert. Im Unterschied zum Inlandsmarkt basieren die Fahrzeugbestellungen aus Exportmärkten nicht auf Kundenaufträgen sondern i. d. R. auf Prognosen. Die Fahrzeuge werden in diesem Fall vom Importeur spezifiziert.

Ein Händler/ Importeur wird über die Bezeichnung, den Ort des Zielbahnhofs, die Distributionskanäle, die Vorzugswerke und spezifische Händlerplanungsparameter vollständig beschrieben.

Die Distributionskanäle wiederum können in sogenannte Unterdistributionskanäle untergliedert werden. Diese Funktionalität ermöglicht die Verschachtelung von Distributionswegen. Beispielsweise besteht die Option, sowohl alternative Transportmittel als auch verschiedene Routen abzubilden. Jeder Distributionskanal ist über die Attribute Ausgangspunkt, Zielpunkt, Fahrplan,²⁵⁸ Transportkapazität, Transport- und Verladedauer definiert.

Angaben bezüglich der Termine für die Volumenvereinbarung und Fahrzeugbestellungen eines Händlers/ Importeurs sind Bestandteil der spezifischen Händlerplanungsparameter. Weiteres Merkmal ist die Klassifizierung der Kunden durch Segmentierung (Vgl. Abschnitt 2.1). Im Modell werden die Kunden entsprechend ihrer Präferenzen bezüglich der Lieferzeit differenziert.

Werke

Ein Werk ist durch die Bezeichnung, die Kapazität, die Durchlaufzeit, Sperrungen²⁹, den Zielbahnhof und die in dem Werk verbauten Fahrzeugklassen vollständig beschrieben.

Die Kapazität eines Werkes wird durch Multiplikation der Ausbringung pro Stunde und der Wochenarbeitszeit des Werkes ermittelt. Gesetzlich geregelte Feiertage und Werksurlaub werden separat aufgeführt und in der Kapazitätsplanung berücksichtigt. Sowohl für den Durchsatz als auch für die Wochenarbeitszeit kann ein Grad der Flexibilität im Zeitverlauf definiert werden.

Bezogen auf die Durchlaufzeit sind die Plandurchlaufzeit und die Durchlaufzeitverteilung als Wertverlauf anzugeben. Auf Basis der Plandurchlaufzeit erfolgt die zeitliche Einplanung des Auftrags in der Fertigung. In Abhängigkeit von der Varianz der Durchlaufzeitverteilung ergeben sich entsprechend Effekte auf die ZP8-Treue. Eine Verbesserung der ZP8-Treue könnte man durch eine Verringerung der stochastischen Einflüsse realisieren.

Anhand der Ergebnisse können dann Aussagen über die Stabilität des Auftragsabwicklungsprozesses insgesamt abgeleitet werden. Für den Fall, daß ausschließlich die Stochastik in der Fertigung die Ursache der Destabilität in der Auftragsabwicklung darstellt, ermöglichen deterministische Fertigungszeiten ceteris paribus die genaue Bestimmung des Liefertermins.

Sperrungen von Eigenschaften werden ebenfalls bei den Werken angegeben. Die Beschreibung der Sperrung erfolgt über deren Definition. Bestandteile dieser sind Angaben bezüglich der Vorwarnzeit, der Dauer und dem Beginn der Sperrung sowie der anteiligen Kapazität der Eigenschaft, die von der Sperrung betroffen ist. Im Rahmen der Funktionalität Sperrung könnte auch eine Einsatzterminverschiebung modelliert werden. Von einer Einsatzterminverschiebung wird gesprochen, wenn eine Eigenschaft aufgrund vielfältiger Probleme nicht zum ursprünglichen Termin verbaut werden kann. Besonders problematisch ist dieser Umstand in den Fällen, wo die Nichteinhaltung des geplanten Einsatztermins sehr spät bekannt wird und in der Einplanung dann nicht mehr berücksichtigt werden kann. Wenn ein Einsatztermin verschoben wird, erfolgt die Substitution der gesperrten

Eigenschaft durch eine Eigenschaft der gleichen PR-Nummern Familie. Aufgrund der hohen Komplexität und der Existenz zahlreicher Zwänge und Verbote bei Eigenschaftskombinationen ist hierfür ein ausreichend langer Vorlauf vorzusehen. In diesem Zusammenhang wird deutlich, welche Auswirkungen eine späte Bekanntgabe einer Einsatzterminverschiebung auf die Stabilität des Prozesses und in Folge dessen auf die Einhaltung des geplanten ZP8-Termins haben kann.

Eine Angabe der verbauten Fahrzeugbeschreibungen und den entsprechenden relativen Anteilen der Fahrzeugbeschreibungen an der gesamten Fertigung der jeweiligen Fahrzeugbeschreibung ist nur dann relevant, wenn mehr als ein Werk in dem Modell berücksichtigt wird und Fahrzeugbeschreibungen nicht ausschließlich in einem Werk gefertigt werden. Ansonsten beträgt der Anteil immer 100%.

Untersuchungsgegenstände

Simulationssysteme

Mit Hilfe des lassen sich vielfältige Fragestellungen untersuchen. Dabei können sowohl Auswirkungen von strategischen als auch operativ/ taktischen Entscheidungsalternativen simuliert werden. Die nachfolgenden Beispiele sollen einen Eindruck für die universelle Verwendung des Tools vermitteln. Analysiert wird in allen Fällen, wie die beschriebenen Kennzahlen Lieferzeit, Liefertreue, Auslastung und Bestände variieren, wenn bestimmte Faktoren die Kontinuität des Prozesses negativ beeinflussen.

Auswirkungen strategischer Entscheidungen bzgl.

- der Implementierung einer neuen Prozeßstufe
- der Komplexitätsreduktion (Modularisierung in der Beschaffung und im Vertrieb)
- alternativer Beschaffungsstrategien (Bsp. modular sourcing)
- alternativer Fertigungskonzepte (Kundenauftragsfertigung vs. Lagerfertigung)
- der Standortplanung
- alternativer Distributionskanäle
- der langfristigen Kapazitätsplanung (technische Kapazität)
- neuer Händlernetzstrukturen

Auswirkungen operativ/ taktischer Maßnahme in Folge von

- Einsatzterminverschiebungen
- Engpässen bei Zulieferern
- nicht prognostizierter Nachfrage nach Fahrzeugen/ Eigenschaften
- temporären Kapazitätseinschränkungen in den Werken aufgrund eines Maschinenausfalls u. ä.

Simulationsstudie Modell „Fahrzeugauslieferung

[an einem Auslieferungspunkt
des Herstellers bzw. des
Händler]

1 Problemstellung

Im Unterschied zu der herkömmlichen Übergabe von Neuwagen wird dem Kunden die Möglichkeit der Übergabe des neuen Fahrzeugs [] offeriert. Die Fahrzeugbestellung wird wie bisher auch von den Händlern vor Ort entgegengenommen.

Die mit der Auslieferung der Fahrzeuge [] verbundene Schwierigkeit besteht in der Notwendigkeit, daß die Fahrzeuge, die zu einem bestimmten Zeitpunkt an den Kunden übergeben werden sollen, auch genau dann zur Verfügung stehen müssen. Konkret resultiert aus diesem Anspruch eine Liefertreue von 100%. Dies setzt eine verbindliche Einplanung der kundenspezifischen Fahrzeuge und stabile Prozeßabläufe voraus. Im Rahmen der Einplanung sind insbesondere die persönlichen Präferenzen des Kunden hinsichtlich des Zeitpunktes der Auslieferung zu berücksichtigen.

Wie der oben beschriebene logistische Anspruch bezüglich der Liefertreue realisiert werden könnte, kann als Ergebnis einer Simulationsstudie aufgezeigt werden. Ausgehend von dem Status quo der Auslieferung

(1) soll im Rahmen einer Simulationsstudie bestimmt werden, wel-

che Systemanpassungen vorzunehmen sind, um dem Kunden einen verbindlichen Auslieferungstermin bereits zum Zeitpunkt des Eingangs der Kundenbestellung beim Händler mitzuteilen (

Um die Auslieferung von Fahrzeugen an die Kunden zu dem zugesagten Termin verbindlich sicherstellen zu können, wird der Kunde gegenwärtig erst zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Fahrzeugs über den frühestmöglichen Tag der Übergabe informiert.

Da die Übernahme durch den Kunden nicht in jedem Fall kurzfristig erfolgen kann, müssen die Fahrzeuge in der Zwischenzeit gelagert werden. Hierfür wird eine bestimmte Kapazität an Stellplätzen benötigt. Kosten entstehen in Form von Kapitalbindung, fixe Kosten der Errichtung der Lagerflächen und variable Kosten der Lagerhaltung.

Im Rahmen dieser Problematik soll eine monetäre Betrachtung vorgenommen werden. Ziel ist es aufzuzeigen, welche Einsparungen resultieren könnten, wenn die Erkenntnisse aus der Simulationsstudie in die Prozeßgestaltung einfließen würden.

Aufgrund der vielen Einflußfaktoren, die den Prozeß destabilisieren können, ist es schwierig, den Bedarf an Stellflächen genau zu quantifizieren.

Für den Fall, daß mehrere Einflüsse parallel auf das System einwirken, resultiert eine Durchlaufzeitverteilung mit einer hohen Varianz. In Folge dessen ist der dem Kunden verbindlich zugesagte Liefertermin nicht zu halten.

Modellkonzeption

□

Ziel der Simulation ist ein Vergleich alternativer Prozeßkonfigurationen. Zunächst ist ein Modell zu erstellen, das die relevanten Eigenschaften des realen System abbildet.

Im Bezug auf den zu untersuchenden Sachverhalt sind nicht alle Teilprozesse des Auftragsabwicklungsprozesses relevant. Entsprechend ist die Abstraktion geeignet vorzunehmen.

Es wird nur das Werk ~~X~~ modelliert.²⁶² Des weiteren wird nur der Anteil der im Werk ~~X~~ gefertigten Fahrzeuge berücksichtigt, der für den Inlandsmarkt bestimmt ist. Neben der Beschränkung auf das Werk ~~X~~ und den Markt Deutschland werden folgende Ebenen des Fahrzeugaufbaus im Modell betrachtet:

- Hersteller ~~X~~
- Fahrzeugklasse
- Fahrzeugtyp
- Markt/ Länderkennzeichen: (Inland/ Markt Deutschland)

Der Umfang der im Modell erfaßten Eigenschaften beschränkt sich auf die Eigenschaftsfamilien, die regelmäßig als kritisch eingestuft sind. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang, annähernd die Komplexität der Fahrzeugbeschreibung in der Realität in dem Modell abzubilden.²⁶⁴ Demnach sind insgesamt 13 Eigenschaftsfamilien mit 68 Eigenschaften/ PR-Nummern zu berücksichtigen. Im Rahmen der Modellierung sind ebenfalls die PR-Nummern Spezifikationen und PR-Nummern Setzungen abzubilden

Die Ist-/ bzw. Soll-Einbauraten der Eigenschaften/ Fahrzeugklassen sind den jeweiligen Planungssystemen zu entnehmen. Da lediglich die Fahrzeugsteuerung betrachtet wird, ist die Modellierung von Zulieferern für die Beantwortung der Fragestellung irrelevant.

Die Terminleisten der im Werk ~~X~~ realisierten Prozeßstufe „2+2“ sind auch im Modell zu implementieren

Die im Modell unterstellten Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit muß der tatsächlichen Fertigungszeit im Werk ~~X~~ entsprechen.²⁶⁵ Da die Fertigungsdurchlaufzeiten für

die einzelnen Fahrzeugtypen

sen, ist eine getrennte Modellierung der Montagelinien vorzunehmen. In diesem Punkt kann keine Abstraktion von der Realität erfolgen.

Das reale Layout der Fertigungsanlagen für den ^{Fahrzeugtyp X} im Werk ^{des Fahrzeuges Z} zeigt eine Unterteilung der Fertigung in drei unabhängige Segmente. Die Fertigungsdurchlaufzeiten in den jeweiligen Segmenten sind ebenfalls unabhängig voneinander. Um die Modellkomplexität nicht unnötig zu erhöhen, kann auf diese Trennung verzichtet werden. Statt dessen ist ein Durchschnittswert über die Fertigungszeiten der drei Segmente zu bilden.

Für die Fertigung wurde eine Plandurchlaufzeit für die Fertigung von ca. 60 h und für die Fertigung ^{des Fahrzeuges Y} von ca. 75h ermittelt.²⁶⁶

Es sollen ausschließlich logistische bzw. produktionstechnische Einflußfaktoren in der Prozeßanalyse bewertet werden. Der Simulationszeitraum beträgt 24 Monate.

Abbildung 22 zeigt die Eingabe- und Ausgabedaten im Überblick.

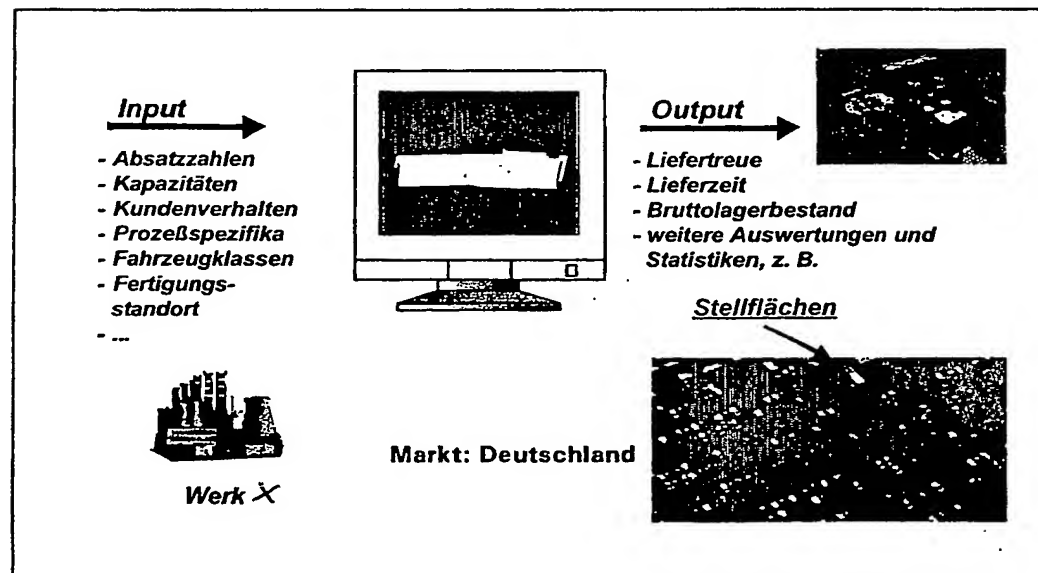


Abbildung 22: Eingabe- und Ausgabedaten

Implementieren des Modells

Allgemeine Umsetzung des Modellkonzeptes

Das Modellkonzept wurde zunächst als Referenzmodell im Simulationsmodell umgesetzt. Als Simulationszeitraum wurde ein Zeitraum von zwei Jahren festgelegt (Fahrzeugvolumen ca. 500.000 Fzg.).

Die Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit wird im Modell über ein Histogramm abgebildet, d. h. man bestimmt Intervalle von Durchlaufzeiten und ermittelt jeweils den prozentualen Anteil an Fahrzeugen, deren Fertigungsdurchlaufzeit einem Wert innerhalb der Grenzen dieser Intervalle aufweist.

Die Tabelle 6 zeigt die realen Durchlaufzeitverteilungen für die Fertigung ^{der Fahrzeuge y und z} im Werk X

Fertigungsdurchlaufzeitverteilung Werk X			
Fahrzeugtyp z		Fahrzeugtyp y	
Intervall (Fertigungszeit in Stunden)	Anteil	Intervall (Fertigungszeit in Stunden)	Anteil
0 - 48	0%	0 - 70	0%
48 - 50	10%	70 - 74	10%
50 - 60	40%	74 - 75	40%
60 - 91	40%	75 - 116	40%
91 - 149	10%	116 - 352	10%

Tabelle 6: Verteilung Fertigungsdurchlaufzeiten

In Abbildung 23 und Abbildung 24 sind die Durchlaufzeitverteilungen kumuliert dargestellt.

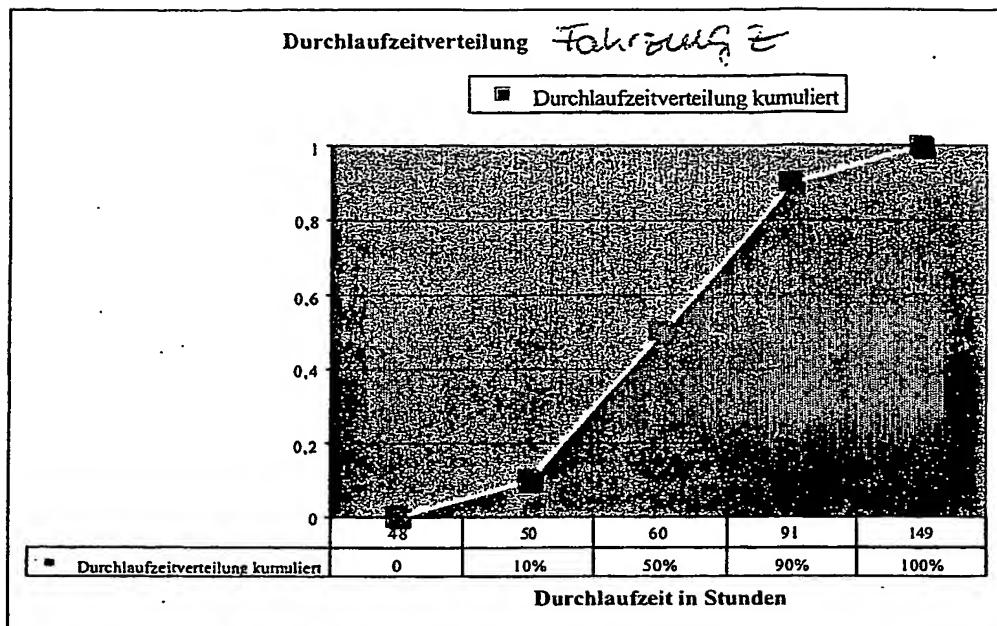


Abbildung 23: reale Fertigungsdurchlaufzeit

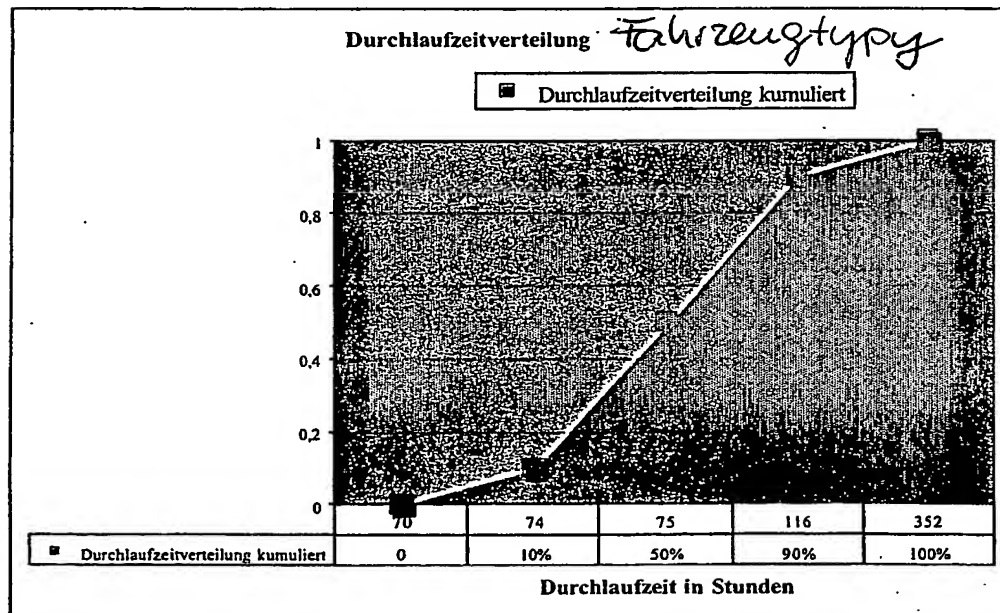


Abbildung 24: reale Fertigungsdurchlaufzeit

Konfiguration unterschiedlicher Szenario der Prozeßgestaltung

Szenario A [an einem Auslieferungsort
des Herstellers bzw. des Hersteller]

Das Referenzmodell wird in Szenario A durch die Berücksichtigung einer Besonderheit im Zusammenhang mit der Fahrzeugauslieferung [] modifiziert. Wie in Abschnitt 5.3.1 bereits beschrieben, erfolgt die Festlegung eines verbindlichen frühestmöglichen Auslieferungstermins erst zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Fahrzeugs (ZP8).

In der Zeit zwischen der Fertigstellung des Fahrzeugs und der Übergabe des Fahrzeugs an den Kunden [] muß das Fahrzeug auf hierfür vorgesehene Stellplätze zwischengelagert werden. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen rechnet man mit einer durchschnittlichen Standzeit von 14 – 16 Kalendertagen. Dieser Richtwert kann jedoch noch variieren.

Um die Kundenankunftszeit ² geeignet abzubilden, ist ein zeitverzögerndes Element innerhalb des Distributionskanals zu modellieren. Die Verteilungskurve der Kundenankunft hat die in Abbildung 25 skizzierte Ausprägung.

Im Mittel ergibt sich eine durchschnittliche Kundenankunftszeit von ca. 16 Kalendertagen.

Für die Zwischenlagerung der Fahrzeuge wird eine Kapazität von ca. 8.700 Stellplätzen bereitgestellt. Ausweichplätze unbestimmter Kapazität geschaffen.

In einem ersten Schritt soll mittels Simulation der Stellflächenbedarf für die geschilderten drei Ausbaustufen ermittelt werden, wobei die reale Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit der Fahrzeugtypen y, z unterstellt wird (Ver-

teilung A). Im Anschluß daran wird die Varianz in der Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit sukzessive reduziert (Verteilung B und C). Durch diese Maßnahme kann die ZP8-Treue erhöht werden. Im Rahmen dieser Sensitivitätsanalyse wird der Einfluß der Stochastik in der Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit auf die ZP8-Treue quantifiziert.

Abbildung 25: Verteilung der Kundenankunftszeit Szenario A

Die Abbildung 26 und Abbildung 27 zeigen die Verteilungen A, B und C der Fertigungsdurchlaufzeit für die Fertigung des *Fahrzeugtyps Z* und für die Fertigung des *Fahrzeugtyps Y*. Anhand der Verläufe der Fertigungsdurchlaufzeitverteilung läßt sich die Verringerung der Stochastik erkennen.

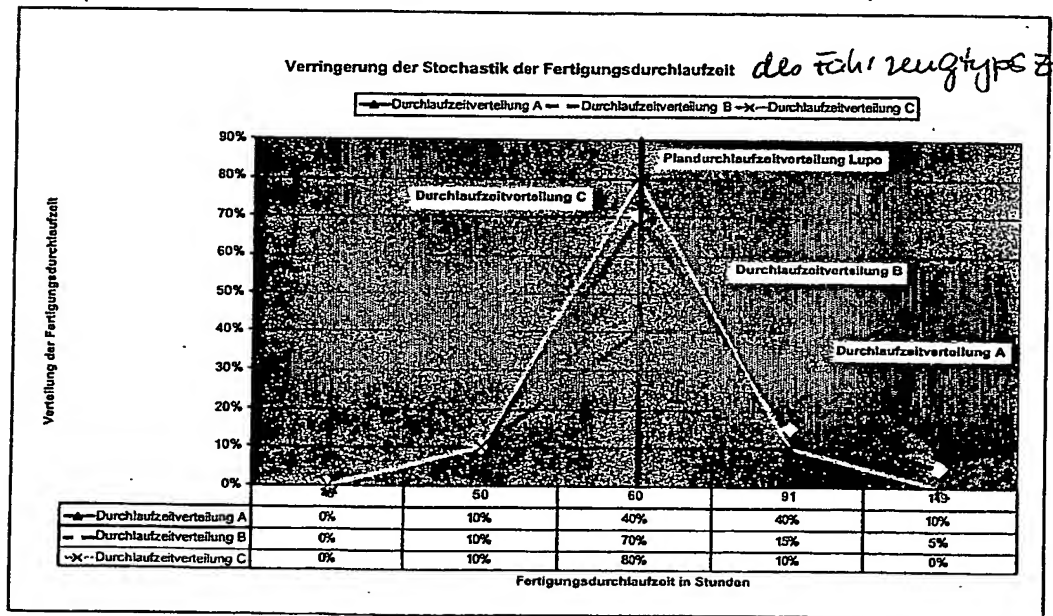


Abbildung 26: Verringerung der Stochastik in der Fertigungsdurchlaufzeit

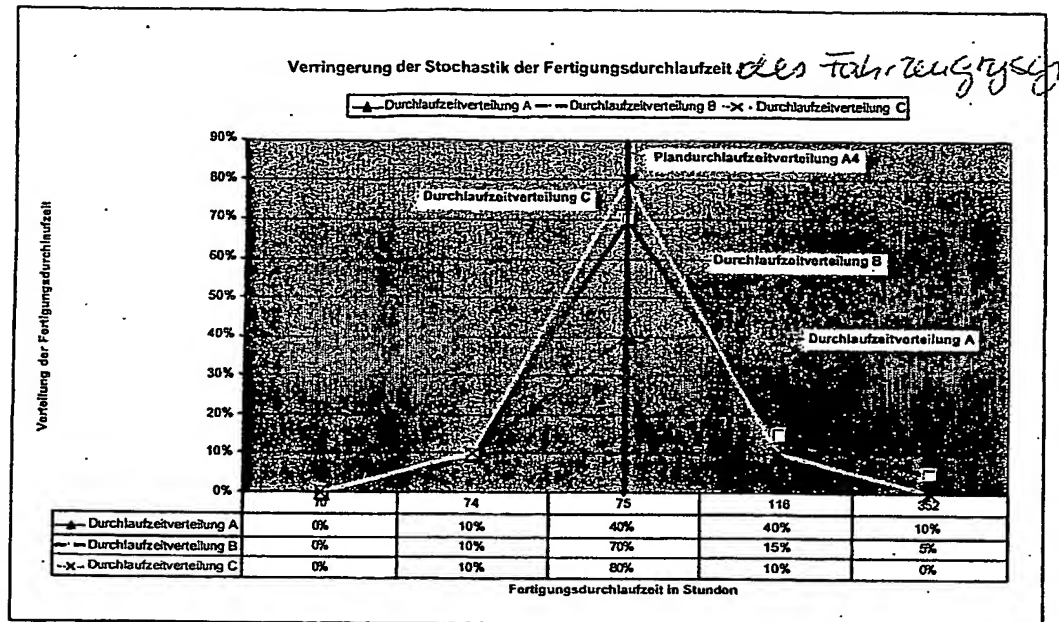


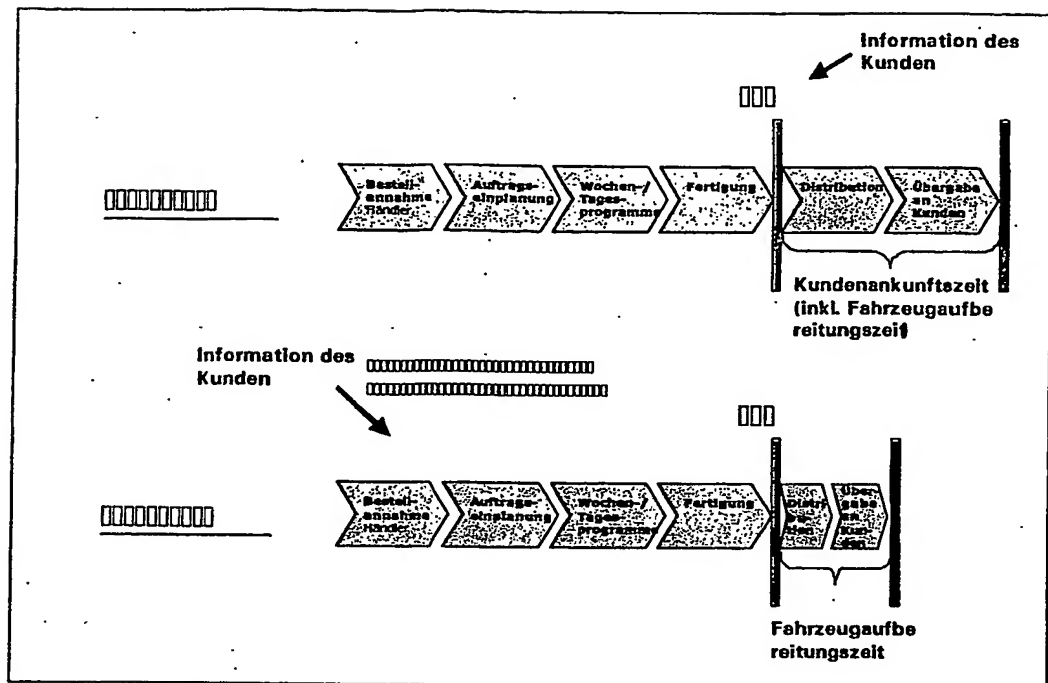
Abbildung 27: Verringerung der Stochastik in der Fertigungsdurchlaufzeit.

Nachfolgend wird das Szenario B beschrieben, ehe die Ergebnisse der Simulationsstudie im Anschluß zusammengefaßt werden. Im Rahmen dieser Systematisierung erfolgt der Vergleich der für die zu untersuchende Fragestellung relevanten Daten.

Szenario B

Das Szenario B basiert auf den Erkenntnissen der Sensitivitätsanalyse bezüglich der Verringerung der Varianz der Fertigungsdurchlaufzeit. Ein stabiler Fertigungsprozeß ermöglicht das Vorziehen des Zeitpunktes der Übermittlung der Information des frühestmöglichen Auslieferungstermins an den Kunden. In Folge dessen reduziert sich die durchschnittliche Standzeit des Fahrzeugs nach ZP8. Im Optimum kann der vom Kunden präferierte Auslieferungstermin bereits in der Fahrzeugeinplanung berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu Szenario A wird die Verteilung der Kundenankunftszeit nicht in der Distribution sondern bereits als Kundenwunschterminverteilung in der Auftragseinplanung implementiert.²⁷⁶

In Abbildung 28 werden die beiden Szenario vergleichend gegenübergestellt.

Abbildung 28: Szenariovergleich²

Verifizierung und Validierung

Nach der Implementierung wurde das Modell verifiziert und validiert. Wie bereits allgemein beschrieben, wird bei der Verifizierung ein Vergleich zwischen dem Modell und der Modellkonzeption durchgeführt, d. h. es wird geprüft, ob im Modell alle relevanten Systemzusammenhänge, die im Rahmen der Konzeption definiert wurden, abgebildet sind.

Bei der Überprüfung der Validität des Modells wurden die Simulationsergebnisse mit den Daten des realen Systems verglichen. Diese Vorgehensweise empfiehlt sich in den Fällen, wo reale Eingangsdaten verwendet werden. In diesem Zusammenhang wurden sowohl Teilprozesse als auch der Gesamtprozeß überprüft. Für die Validierung des Gesamtprozessen wurden die realen Treuemeßwerte aus der Treuemessung für das Werk X zugrunde gelegt.

Durchführen und Auswerten von Simulationsläufen

□

Die Auswertung der einzelnen Experimente basiert auf jeweils einem Simulationslauf.

Diese Vorgehensweise ist im Zusammenhang mit der Fragestellung gerechtfertigt, weil in einem ersten Schritt lediglich eine grobe Abschätzung des Stellflächenbedarfs vorgenommen werden soll. Für den Fall, daß genaue Werte zu bestimmen sind, müssen n statistischen Verfahren angewandt werden. Dies beinhaltet u. a. die Durchführung mehrerer Replikationen. Dabei ist sicherzustellen, daß der Startwert bei der Generierung der Zufallszahlen durch den Zufallsgenerator variiert wird. Ansonsten werden die Ergebnisse bei jeder Replikation reproduziert.

Darüber hinaus genügt auch für die Bestimmung der Dauer der „warming-up“-Periode eine grobe Abschätzung.²⁷⁸ Diese Vorgehensweise ist zulässig, da für die konkrete Fragestellung ein Maximalwert zu ermitteln ist.

Näherungsverfahren wären beispielsweise dann anzuwenden, wenn ein Durchschnittswert über eine bestimmte Ausgangsgröße ermittelt werden soll.

Bei der Auswertung der Daten der Simulationsläufe im Modell, " wurde eine Dauer von drei Monaten ermittelt, die das modellierte System zum Einschwingen benötigt.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Ermittlung des Stellflächenbedarfs auf Basis der realen Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit (Verteilung A) für die Ausbaustufe 1 (Auslieferung von 300 Fzg. täglich), Ausbaustufe 2 (600 Fzg. täglich) und Ausbaustufe 3 (1000 Fzg. täglich) aufgeführt.

In Tabelle 8 wurden die Ergebnisse der in Abschnitt 5.3.3.2.1 beschriebenen Sensitivitätsanalyse bezüglich der Wirkung stochastischer Fertigungsdurchlaufzeiten auf die ZP8-Treue aufbereitet.

Stellflächenbedarf Fahrzeug- auslieferung (Szenario A; Fertigungsdurchlaufzeit- verteilung A)		Bedarf an Stellflächen für Fzg., ausgeliefert werden sollen und im Werk ^x produziert wurden
Ausbaustufe 1: Auslieferung von täglich 300 Fzg.	Max.	6.216
	Durchschnitt	4.847
	Min.	3.880
Ausbaustufe 2: Auslieferung von täglich 600 Fzg.	Max.	12.121
	Durchschnitt	9.620
	Min.	7.556
Ausbaustufe 3: Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	Max.	19.130
	Durchschnitt	15.389
	Min.	12.070

Tabelle 7: Stellflächenbedarf bei der Auslieferung von Fzg.

Die in der Tabelle 8 aufgeführten Werte für die Standardabweichung in der Fertigungsdurchlaufzeit wurden aus einer Stichprobe von 1000 Fahrzeugaufträgen für jede der drei unterstellten Verteilungen ermittelt. Der Erwartungswert für die Fertigungsdurchlaufzeit entspricht der Plandurchlaufzeit

DLZ- Verteilung in der Fertigung	Standardab- weichung <i>Fahrzeug</i> <i>z</i>	Standardab- weichung <i>Fahrzeug</i> <i>y</i>	ZP8-Treue (Gesamt) wochengenau	ZP8-Treue (Gesamt) wochengenau inkl. Vorgriff
Verteilung A	22,5 h	60,0 h	68%	76%
Verteilung B	16,0 h	38,0 h	72%	83%
Verteilung C	7,5 h	7,3 h	75%	88%

Tabelle 8: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse²⁸⁰

Im Rahmen der weiteren Vorgehensweise wurde unterstellt, daß ein Übergang zu der Prozeßgestaltung des Szenario B nur dann in Betracht gezogen werden kann, wenn der Fertigungsprozeß einen stabilen Verlauf aufweist. Diese Voraussetzung ist zumindest in Ansätzen für die Fertigungsdurchlaufzeitverteilung C gegeben.

Die folgende Tabelle 9 zeigt den Stellflächenbedarf für den Fall der Verteilung C der Fertigungsdurchlaufzeit. Darüber hinaus geht aus der Tabelle 10 das Einsparpotential bezüglich des Bedarfs an Stellflächen im Vergleich zum heutigen Prozeß in Szenario A hervor.

Stellflächenbedarf Fahrzeug- auslieferung (Szenario B; Fertigungsdurchlaufzeit- verteilung C)		Bedarf an Stellflächen für Fzg., die ausgeliefert werden sollen und im Werk ^x produziert wurden
Ausbaustufe 1: Auslieferung von täglich 300 Fzg.	Max.	1.360
	Durchschnitt	1.061
	Min.	789
Ausbaustufe 2: Auslieferung von täglich 600 Fzg.	Max.	2.551
	Durchschnitt	2.026
	Min.	1.277
Ausbaustufe 3: Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	Max.	3.940
	Durchschnitt	3.203
	Min.	1.570

Tabelle 9: Stellflächenbedarf Szenario B und DLZ-Verteilung C

Stellflächenbedarf Fahrzeug- auslieferung bei Übergang von Szenario A zu Szenario B		Einsparung von an Stellflächen bezogen auf Fzg., die t ausgeliefert werden und im Werk X produziert wurden
Ausbaustufe 1: Auslieferung von täglich 300 Fzg.	Max.	4.856
	Durchschnitt	3.831
	Min.	3.091
Ausbaustufe 2: Auslieferung von täglich 600 Fzg.	Max.	9.570
	Durchschnitt	7.594
	Min.	3.880
Ausbaustufe 3: Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	Max.	15.190
	Durchschnitt	12.186
	Min.	10.500

Tabelle 10: Einsparpotential an Stellplätzen beim Übergang zu Szenario B

Im Rahmen einer monetären Betrachtung resultieren ausschließlich aus der Verringerung der Kapitalbindungskosten die in Tabelle 11 dokumentierten Einsparpotentiale.

Werden darüber hinaus auch die Kosten der Bereitstellung von Flächen für die Zwischenlagerung der Fahrzeuge betrachtet, erhöht sich dieser Betrag entsprechend.

Ausbaustufen der Auslieferung von Fahrzeugen	Reduktion des durchschnittlichen Stellflächenbedarfs bei der Substitution von Szenario A; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung A durch Szenario B; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung C: im Werk X g gefertigte Fahrzeuge	In der Simulation ausgewiesene Einsparung von Kapitalbindungskosten pro Jahr (Potentiale sind zu verifizieren):
Ausbaustufe 1: Auslieferung von täglich 300 Fzg.	3.831	9,8 Mio DM
Ausbaustufe 2: Auslieferung von täglich 600 Fzg.	7.594	19,4 Mio DM
Ausbaustufe 3: Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	15.389	39,2 Mio DM

Tabelle 11: Verringerung der Kapitalbindungskosten pro Jahr

Die Berechnung der Einsparpotentiale bei der Substitution der Parameter aus Szenario A mit der Fertigungsdurchlaufzeitverteilung A durch die Parameter des Szenario B mit der Fertigungsdurchlaufzeitverteilung C basiert auf Gleichung 3.

$$= \text{Zins} * \text{durchschnittlicher Verkaufspreis} * \text{Reduzierung des durchschnittlichen Lagerbestandes}$$

n

Gleichung 3: Ermittlung des jährlichen Einsparpotentials der Prozeßveränderung

Als Kapitalmarktzins wurde ein Zinssatz von 8% unterstellt. Der durchschnittliche Verkaufspreis der in der Simulation betrachteten Fahrzeugklassen beträgt *ca 30.000* DM. Die Differenz des durchschnittlichen Lagerbestandes in beiden Szenarios wurde bereits in Tabelle 10 ermittelt. Weiterhin ist zu beachten, daß bei der Berechnung nur die im *WerkX* gefertigten Fahrzeuge berücksichtigt wurden. Auch in diesem Fall würden sich die Beträge entsprechend erhöhen, wenn das gesamte Fahrzeugvolumen, daß *an* den Kunden ausgeliefert wird, in die Gesamtkalkulation mit einfließt.

Bezogen auf ein einzelnes Fahrzeug ergeben sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Ausbaustufe die in der Tabelle 12 aufgeführten durchschnittlichen Ersparnisse.

Ausbaustufen der Auslieferung von Fahrzeugen a	Verkürzung der durchschnittlichen Versandzeit bei der Substitution von Szenario A; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung A durch Szenario B; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung C:	In der Simulation ausgewiesene Einsparung von Kapitalbindungskosten pro Fzg. (Potentiale sind zu verifizieren):
Ausbaustufe 1: Auslieferung von täglich 300 Fzg.	10,08 Tage	72,4 DM
Ausbaustufe 2: Auslieferung von täglich 600 Fzg.	10,51 Tage	74,4 DM
Ausbaustufe 3: Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	10,91 Tage	77,2 DM

Tabelle 12: Verringerung der Kapitalbindungskosten pro Fahrzeug

n

Problemstellung

Die Problemstellung, die mit der Gestaltung des K-K-Prozesses verbunden ist, ergibt sich aus der Komplexität des betrachteten Systems in dem der Prozeß abläuft sowie den vielfältigen Möglichkeiten, das Systemverhalten bewußt beispielsweise durch Veränderung der Steuerungsprinzipien oder unbewußt durch Störungen zu beeinflussen.

Um im Vorfeld der Realisierung aber auch in späteren Betriebsphasen das dynamische Verhalten des Systems sowie die Qualität des Geschäftsprozesses der Auftragsabwicklung beurteilen und optimieren zu können, muß ein Instrument als Experimentierumgebung vorhanden sein, mit dessen Hilfe quantifizierte Aussagen über das Systemverhalten bei variierenden Systemlasten und alternativen Steuerungsprinzipien möglich werden.

Die Qualität des K-K-Prozesses muß dabei anhand folgender Erfolgsparameter bewertbar sein:

- Reduzierung der Lieferzeiten
- Gewährleistung der Liefertreue
- Optimierung der Kapazitätsauslastung
- Minimierung der Fahrzeugbestände im Distributionssystem

Innerhalb des K-K-Prozesses müssen Flexibilitätsspannen integriert sein, die schnelle Anpassungen an variierende Randbedingungen ermöglichen. Die Kenntnis dieser Spannen und der mit ihnen verbundene Reaktionsspielraum stellen eine wichtige Voraussetzung dar, um die skizzierten Erfolgsparameter zu einem Gesamtoptimum verbinden zu können. Konkret werden hierfür quantifizierte Aussagen benötigt über:

- Die Kapazitätsgrenzen der verschiedenen Systeme und Teilsysteme (Händler-Netz, Vertrieb, Produktion, Distribution)
- Die potentiellen Engpaßkapazitäten
- Die Wirkung verschiedener Steuerungsprinzipien unter variierenden Randbedingungen
- Die Abhängigkeiten zwischen Materialbeständen, Beständen an Neuwagen, Durchlaufzeiten, Lieferterminen, Liefertreue und Kapazitätsauslastungen
- Die vorhandenen Restriktionen und deren Auswirkungen auf den K-K-Prozeß sowie die Kenntnis über Möglichkeiten, Restriktionen kurz- oder langfristig beseitigen zu können

Aus der beschriebenen Problemstellung leitet sich die Zielsetzung ab, den konzipierten K-K-Prozeß in einem Simulationsmodell des ^{Hersteller/des Herstellers} abzubilden, um das dynamische Verhalten des Systems ^{des Herstellers/des Herstellers} unter der neu definierten Ablauforganisation, die durch den K-K-Prozeß beschrieben wird, bewerten zu können.

Um die anschließend spezifizierten Ziele zu erreichen, ^{wurde} ein modulares Simulationsmodell aufgebaut, mit dessen Hilfe das Systemverhalten unter verschiedenen Randbedingungen bewertet werden kann. Gleichzeitig ^{wurden} mit Hilfe des Modells Optimierungspotentiale aufgezeigt werden, um den Geschäftsprozeß der Auftragsabwicklung fortlaufend im Planungs- und Realisierungsstadium verbessern zu können. Neben dieser Prozeßmodellierung können durch Simulationsstudien Schwachstellen (z.B. Engpaßkapazitäten) des Systems erkannt und bewertet werden. Der Nutzen beispielsweise einer Kapazitätserweiterung in einem bestimmten Werkstandort kann hinsichtlich der Erfolgsfaktoren quantifiziert werden und mögliche Investitionsentscheidungen lassen sich absichern.

Das Simulationsmodell bildet neben dem Händler-Netz, die zentralen Vertriebs- und Planungsbereiche, ausgewählte Werkstandorte sowie die Distribution in abstrahierter Form ab. Darüber hinaus werden die Kernprozesse der Lieferanten, wichtige Bestellmodule sowie die Schnittstellen zu den Produktionsbereichen der Automobilwerke grob mit abgebildet.

Durch den Einsatz des Simulationsinstrumentes sollen die folgenden Ziele erreicht werden:

im Verbund arbeitenden Hersteller (Konzern)
1 Integration aller und Produktionsstandorte
in den K-K-Prozeß (Kunde-Kunde-Prozeß)

Hierzu ist es erforderlich, den K-K-Prozeß als offenes Rahmenkonzept zu entwickeln, um den Prozeß an die marken-, standort- und käuferspezifischen Anforderungen anpassen zu können. In dem Simulationsmodell müssen die notwendigen Veränderungen umgesetzt und hinsichtlich der Auswirkungen auf das dynamische Verhalten bewertet werden.

Das Simulationsmodell stellt demgemäß einerseits eine Modellierungsumgebung für die Anpassung des offenen Referenzmodells dar, und andererseits soll es einen Modellspeicher für bereits standort- und markenbezogen konfigurierte Modellkomponenten darstellen.

2 Bewertung von Mengenabweichungen in der lang- bis kurzfristigen Planung

Die Durchlaufzeit, der Bestand sowie die Termintreue hängen maßgeblich von einem abgeglichenen Verhältnis aus Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf ab. Dieser Abgleich muß bereits bei der jährlichen Produktionsprogrammplanung auf Basis von Absatzprognosen durchgeführt werden, um das Atmende Unternehmen auf die saisonalen Schwankungen auszurichten. Die langfristige Kapazitätsplanung muß insbesondere mit der Personalplanung abgestimmt werden, um Jahresarbeitszeitmodelle berücksichtigen zu können.

Mit Hilfe der Simulation sollen verschiedene Jahresarbeitszeitmodelle aber auch unterschiedliche Schichtmodelle bezüglich ihrer Auswirkungen auf das Atmende Unternehmen bewertet werden. Es sind die Flexibilitätsspannen zu beurteilen, die mit den alternativen Methoden der Personaleinsatzplanung verbunden sind.

Neben den Möglichkeiten der langfristigen Kapazitätsanpassungen, müssen mit dem Simulationsmodell ebenfalls verschiedene Methoden des mittel- und kurzfristigen Kapazitätsabgleiches getestet werden, um Aussagen zu erhalten, wie die Systemkomponenten (Produktion, Distribution etc.) auf Kapazitätsbedarfsschwankungen reagieren und welche kurzfristigen Steuerungseingriffe mit welchem Ergebnis möglich sind (Auswirkungen auf Durchlaufzeiten, Liefertreue etc.).

Die kurzfristigen Kapazitätsbedarfsschwankungen werden durch volumenbezogene (Fahrzeuganzahl) und eigenschaftsbezogene Bestellabweichungen (Ausstattungsvarianten) ausgelöst.

Um die lang- bis kurzfristige Mengen- und Kapazitätsplanung optimal aufeinander abzustimmen, sind in dem K-K-Konzept Planungsfunktionen integriert worden, die eine Interaktion zwischen den Händlern und ^{dem Hersteller} erfordern. Diese Planungsfunktionen umfassen die Erstellung einer Jahresabsatzprognose, der Abstimmung eines auf die verfügbaren Kapazitäten abgeglichenen Absatzzieles, das Auslösen von Festaufträgen durch die Händler sowie die Durchführung von Setzungen (Wandlung der Festaufträge in Einzelaufträge, die Fahrzeuge vollständig spezifizieren) und die permanente Anpassung der Setzungen an die Kundenaufträge oder Händlerspezifikationen für Fahrzeuge ohne konkreten Kundenauftrag bis kurz vor Montagebeginn.

Der Nutzen der Händler besteht insbesondere in der Möglichkeit, vorhandene Setzungen an Kundenbestellungen bis drei Tage vor M0 anzupassen und somit Kundenwünsche kurzfristig zu befriedigen.

Der Hersteller

... gewinnt durch das Konzept eine größere Planungssicherheit (garantierte Produktionsmenge durch Festaufträge drei Monate vor M0), kürzere Lieferzeiten und eine höhere Liefertreue, womit die Konkurrenzfähigkeit der verschiedenen Marken gesteigert wird.

3 Analyse und Systematisierung der Restriktionen des K-K-Prozesses

Die Optimierung des Geschäftsprozesses ist von unterschiedlichen Restriktionen begleitet. Hierzu zählen Unternehmensstrategien (Dieselquoten etc.), Tarifvereinbarungen, Lieferantenkapazitäten, Werksrestriktionen etc. Die Auswirkungen dieser Restriktionen auf die Erfolgsfaktoren des K-K-Prozesses müssen mit dem Simulationsinstrument bewertet werden, um eine Entscheidungshilfe zu erhalten, welche Vorteile mit der Beseitigung einzelner Restriktionen verbunden sind.

4 Analyse von Leistungsgrenzen und Bewertung von Maßnahmen zur Verschiebung der Grenzen

Die Leistungsgrenzen einzelner Systeme werden durch die technischen und personellen Kapazitäten bestimmt. Experimente im Simulationsmodell mit unterschiedlichen Systemlasten sollen potentielle Engpaßkapazitäten unter verschiedenen Randbedingungen (beispielsweise gravierende Abweichung des Bestellverhaltens von den Prognosewerten) transparent machen.

Insbesondere die Möglichkeiten und der Nutzen einer flexiblen Verteilung des Produktionsprogramms auf unterschiedliche Werkstandorte für einzelne Modelle und Typen sind hinsichtlich der Kapazitätsauslastung, der Lieferzeiten sowie anderer Erfolgsfaktoren durch Simulationsstudien bewertbar zu machen.

5 Bewertung und Optimierung der Lieferantenschnittstelle im K-K-Prozeß

Die Integration der Lieferanten in den K-K-Prozeß spielt eine entscheidende Rolle, um Fehlmengen zu vermeiden, die zwangsläufig Lieferzeiten verlängern und die Termintreue gefährden. Mit Hilfe des Simulationsmodells soll überprüft werden, welche Informationen den Lieferanten zu welchen Zeitpunkten bereitgestellt werden müssen, damit die Lieferung wichtiger Bestellmodule (heavy items) bedarfsorientiert realisiert werden kann.

Zu prüfen ist der Nutzen der Informationen, die die Lieferanten aus der Absatzprognose, den Inhalten der Festaufträge sowie den Veränderungen der Setzungen ableiten können, um ihre Produktions- und Distributionsprozesse zu optimieren.

6 Bewertung alternativer Distributionsstrategien

Mit Hilfe der Simulation soll geprüft werden, inwieweit die Zielsetzung der Distribution bei der Reihenfolgeplanung in der Produktion berücksichtigt werden kann und welche Vorteile bzw. Nachteile damit verbunden sind.

Nutzen

Der Nutzen, der mit dem planungs- und betriebsbegleitenden Einsatz des Simulationsmodells verbunden ist, läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Validierung des geplanten K-K-Prozesses im Vorfeld der Realisierung
- Verbesserung der K-K-Prozeßplanung im Vorfeld der Realisierung sowie in der Betriebsphase durch Aufbau und Bewertung verschiedener Szenarien in einem Experimentierfeld

- Analyse und Bewertung potentieller Schwachstellen

Beispielhafte Fragestellung: An welchen Stellen entstehen unnötig lange Durchlaufzeiten und welche Randbedingungen sind hierfür verantwortlich?

- Unterstützung der Lastenhefterstellung für die Entwicklung von Planungs- und Steuerungsinstrumenten.
- Testen der Entscheidungsspielräume und Leistungsgrenzen in Extremsituationen (Überlastungen, Störungen etc.) und Ableiten möglicher Kompensationsstrategien als Präventivmaßnahme.
- Durch Integration verschiedener Fachabteilungen und späterer Nutzer des Simulationsinstrumentes in die Phase der Modellerstellung wächst das Verständnis und die Akzeptanz für das Simulationsmodell sowie für den gesamten K-K-Prozeß.

Modul "Systemlastgenerator"

Der Systemlastgenerator erzeugt in einfacher Form die Bedarfsprognosen der Händler und die Bestellungen der Käufer. Die Prognosen werden kontinuierlich (z.B. monatlich) an die generierten (tatsächlichen) Bedarfe der Händler angepaßt.

Dabei erzeugt der Systemlastgenerator einzeln für die Händler und in Summe einmalig zu Beginn eines Verkaufsjahres eine vereinfachte Prognose der Anzahl der Wagen, die über das folgende Jahr verteilt verkauft werden könnten. Zusätzlich zur Anzahl der wahrscheinlich benötigten Fahrzeuge werden ihre wesentlichen Ausstattungsmerkmale ("heavy items") charakterisiert.

Die Jahresprognose kann beispielsweise die folgende Form besitzen:

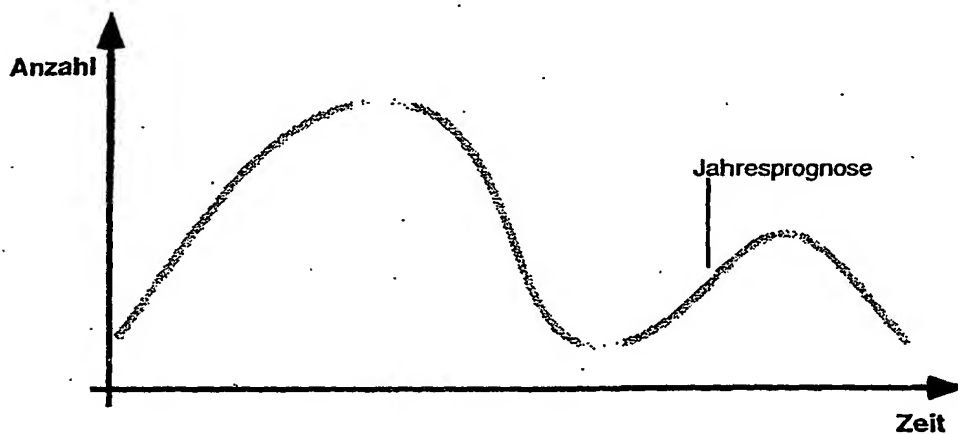


Bild 1: Schematische Darstellung einer Jahresprognose

Herauszustellen ist, dass eine vereinfachte Prognose erstellt wird, die näherungsweise die Prognoseverläufe der Händler widerspiegelt.

Über den simulierten Jahresablauf werden vom Lastgenerator Käuferbestellungen für jeden Händler erzeugt, deren Kurvendarstellung eine von der Jahresprognose abweichende, ähnlich vereinfachte Form besitzt.

Abhängig von dem (mittleren) Kurvenverlauf der Käuferbestellungen der vorhergehenden Monate werden für den nächsten Zeitraum (z.B. 3 Monate) die Prognosen je Woche aktualisiert.

Hieraus ergibt sich beispielsweise der folgende Kurvenverlauf:

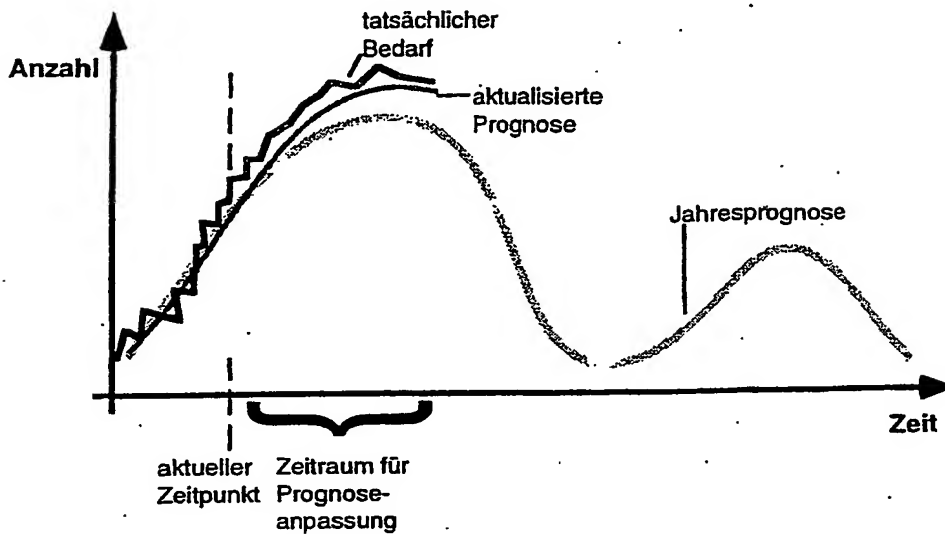


Bild 2: Schematische Darstellung Prognoseaktualisierung

Die Ausgabe des Systemlastgenerators besteht aus den Jahresprognosen der Händler, den Käuferbedarfen sowie aus den aktualisierten Wochenbedarfen (Anzahl und "heavy items" der benötigten Fahrzeuge) der Händler für den nächsten Prognosezeitraum. Sie bilden in vereinfachender Form die Eingängslast für die folgenden Module und können auch graphisch veranschaulicht werden.

Modul "Kapazitätsabgleich"

Die wöchentlichen Bedarfe der Händler werden in diesem Modul mit den abstrahiert modellierten Kapazitäten der Werke und den ebenso grob nachgebildeten Kapazitäten der Zulieferer (s.ü.) abgeglichen und angepaßt.

Hierzu werden die Bedarfe der Händler gesammelt und kumuliert. Nach einer Bedarfskorrektur durch den Zentralvertrieb, im Modell abstrahiert z.B. durch Bedarfs- und Kapazitätsgrenzen dargestellt, erfolgt der Abgleich der Bedarfe (Anzahl, Items) mit den tatsächlichen Kapazitäten der Werke und der Zulieferer.

- 46 -

Der Kapazitätsabgleich kann folgendermaßen dargestellt werden:

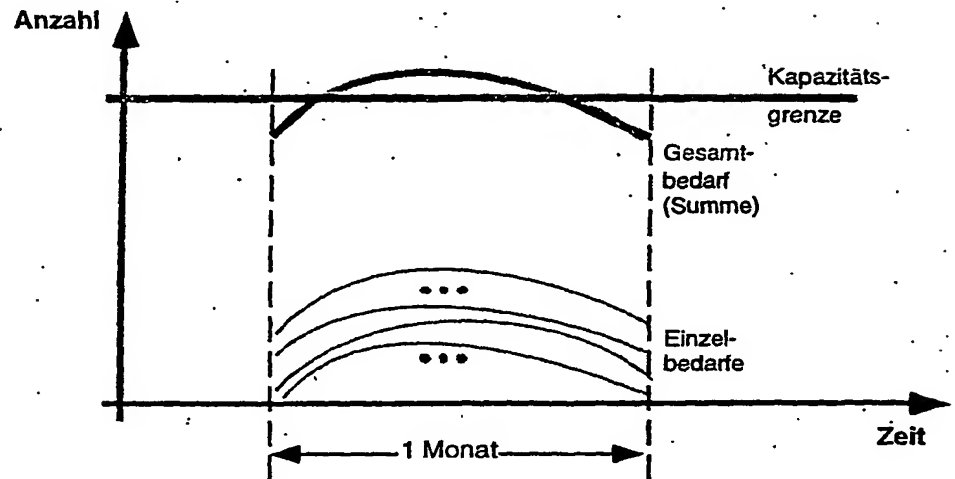


Bild 3: Schematische Darstellung des Kapazitätsabgleiches

Aus dem Kapazitätsabgleich ergeben sich zugelassene Festauftragskontingente je Planungswoche, die angepaßt an vorgegebene Modulkontingente wieder den Händlern mitgeteilt werden (siehe nachfolgende Darstellung).

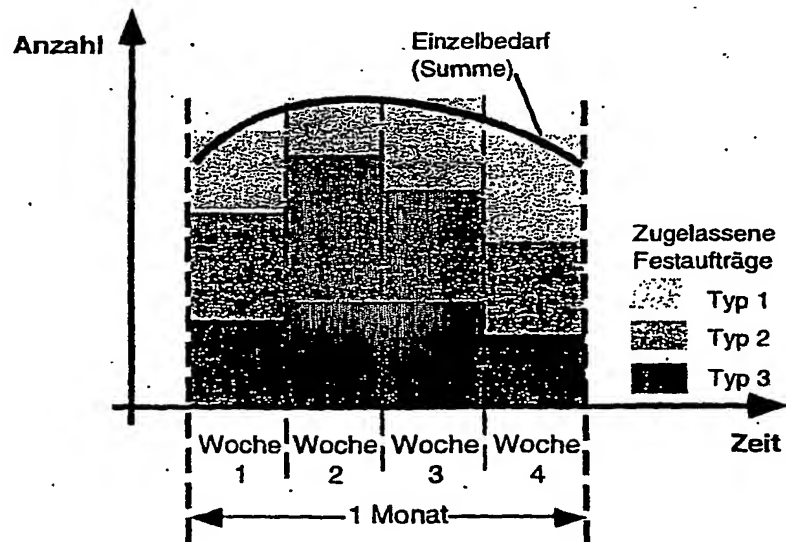


Bild 4: Schematische Darstellung der Erzeugung "zugelassener Festaufträge"

Die Ausgabe des Kapazitätsausgleichsmoduls besteht aus den zugelassenen Festaufträgen und Modulkontingenten für die Händler. Sie bilden den Input für das Modul "Setzungsgenerator".

Modul "Setzungsgenerator"

Der Setzungsgenerator erzeugt für jeden Händler aus den zugelassenen Festaufträgen und Modulkontingenten konkrete Setzungen (Festaufträge und Bestellmodule) für eine Lieferwoche. Die Konkretisierung der Festaufträge zu Setzungen ist abhängig von den bisher beim Händler eingegangenen Käuferbestellungen und den für die Lieferwoche prognostizierten Bedarfen.

Im Modell wird diese Konkretisierung durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit Mittelwerten und Streuungen nachgebildet.

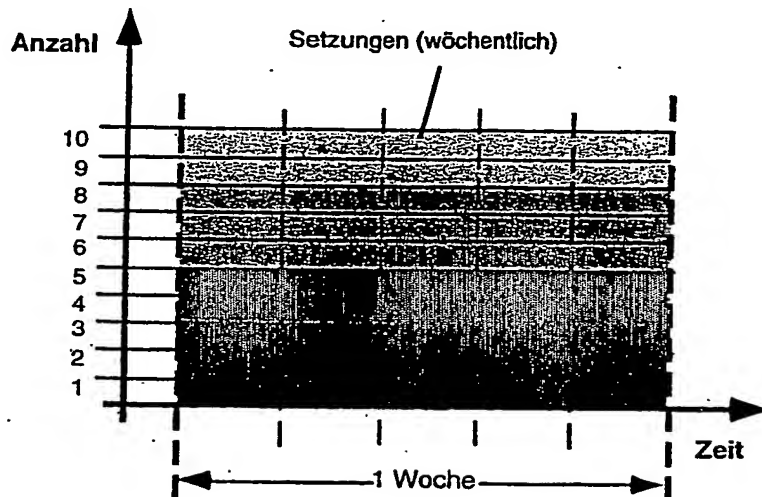


Bild 5: Schematische Darstellung der wöchentlichen Setzungen"

Ausgaben des Setzungsgenerators sind die Setzungen je Händler und Lieferwoche. Diese einzelnen Setzungen werden durch das folgende Modul den Werken zugeordnet und in Tagessetzungen umgewandelt.

Modul "Werkszuordnung"

Die Eingabe für das Modul "Werkszuordnung" sind die Setzungen der Händler. Diese werden mit den Restriktionen (Kapazitäten, Auslastung, etc.) der Produktionswerke und Lieferanten abgeglichen. In diesem Modul findet die Werkszuordnung und die Aufteilung der Wochensetzungen auf die Liefertage statt.

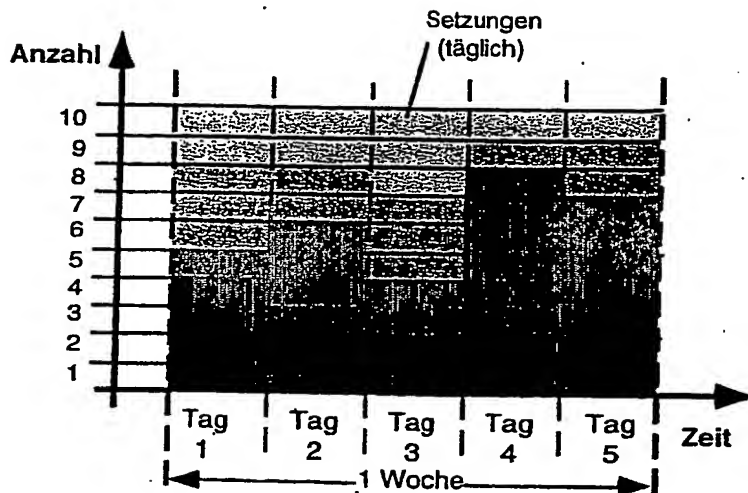


Bild 6: Schematische Darstellung der täglichen Setzungen"

Ausgabe des Moduls "Werkszuordnung" sind konkrete Setzungen mit Angaben über das Herstellwerk, die beteiligten Zulieferer und die Nennung des Liefertages.

Die so konkretisierten Setzungen werden den Händlern mitgeteilt und bilden den Input für das Folgemodul.

Modul "Setzungsmanipulator"

Während des gesamten Prozesses

Prognose -> Festaufträge -> Setzungen ->
Tagesprogramme (s.u.) -> Produktion -> Distribution

treffen Käuferbedarfe bei den Händlern ein.

Diese werden gegenläufig zum Prozeß mit den noch freien Fahrzeugbeständen in der Distribution, der Produktion, in den Tagesprogrammen, den Händlersetzungen, Festaufträgen oder prognostizierten Bedarfen verglichen. Wird ein noch freies Fahrzeug in den Beständen gefunden, das den Käuferwünschen entspricht, so wird ihm die Käuferbestellung zugewiesen. Andernfalls wird versucht, die Prognosen, Festaufträge oder auch Setzungen dem Käuferwunsch anzupassen.

Aus der Sicht eines Händlers werden vorerst nur die eigenen Setzungen (bzw. Festaufträge) mit dem Käuferwunsch verglichen. Trifft keine Setzung zu, so kann der Händler in dafür freigegebenen Setzungsbeständen eines Nachbarhändlers nachsehen und versuchen, aus ihnen den Käuferwunsch zu befriedigen. Dieser Prozeß der Zuordnung eines Käufers zu benachbarten Händlern wird mit "Locating" bezeichnet.

Das Modul "Setzungsmanipulator" führt den gesamten skizzierten Vorgang der Bestands- und Setzungsabgleiche mit den Käuferbestellungen und das Locating durch und aktualisiert die einzelnen Setzungen der Händler.

Ergebnisse bzw. Ausgaben des Setzungsmanipulators sind aktualisierte, mit Käuferbestellungen versehene Setzungen sowie Käuferaufträge mit zugeordneten Beständen oder in den Setzungen bzw. Festaufträgen spezifizierten Fahrzeugen.

Modul "Tagesprogramm"

Dieses Modul arbeitet mit den täglichen Setzungen der Händler. Abhängig von werksspezifischen Vorgaben z.B. der spätest möglichen Startpunkte für die Montage werden die Setzungen zu Tagesprogrammen zusammengestellt. Darüber hinaus werden die in den Setzungen spezifizierten Fahrzeuge in ihre Module aufgelöst. Dieses wird den Zulieferern als festgelegte Abrufmengen mitgeteilt.

Die Ausgaben des Moduls "Tagesprogramm" sind Tagesproduktionsprogramme für die Werke sowie festgelegte Abrufmengen, die den Zulieferern mitgeteilt werden.

Modul "Produktion und Zulieferer"

In diesem Modul werden die einzelnen Produktionsstätten, die Werke der Zulieferer und die Zeiten für Montage oder für die Belieferung in abstrahierter Form durch mehrere Modellbausteine nachgebildet.

- 50 -

Dabei werden mittlere Durchlaufzeiten und Durchlaufzeitschwankungen sowie die Tagesproduktionskapazitäten für die Produktionsstätten und die Zulieferwerke als Parameter angegeben.

Darüber hinaus besitzen die Modellelemente Merkmalsbeschreibungen z.B. über Grenzkapazitäten, Arbeitszeitmodelle, Personalstamm oder andere Spezifika der Werke, die für die Prognose- und Planungsvorgänge der vorher beschriebenen Module notwendig sind.

Die so in Grobmodellbausteinen nachgebildeten Produktionswerke geben in vereinfachter Form Feinabrufe an die Modellbausteine, die die Zulieferung nachbilden.

Als Eingang für dieses Modul dienen die Tagesprogramme. Das Modul erzeugt Fahrzeuge im Modell, die dem Folgemodul "Distribution" übergeben werden.

Modul "Distribution"

Ebenso wie die Produktionsstätten oder die Werke der Zulieferer wird die Distribution zu den Händlern oder direkt zu den Käufern abstrahiert in Form von Modellelementen abgebildet, die die mittleren Distributionszeiten nachbilden. Inwieweit die Auslastungen einzelner Transportkapazitäten berücksichtigt werden müssen, wird in der Konzeptionsphase geklärt.

1 Aufbau eines Gesamtmodelles, Experimente und Dokumentation

Aus den Modellkomponenten und Einzelmodulen wird hier ein Gesamtmodell zusammengestellt, das zur Bewertung der beschriebenen Abläufe gemäß den definierten Kennzahlen (Lieferzeiten, Termintreue, Bestände, Kosten) genutzt werden kann.

Zusammen mit Mitarbeitern des Auftraggebers werden nach der Erstellung des Gesamtmodelles Experimente definiert, durchgeführt und ausgewertet.

Die Ergebnisse der Konzeption, die Beschreibung der Module und Modellkomponenten, die Beschreibung des Gesamtmodells und die Ergebnisse der Experimentphase werden zu einer Dokumentation zusammengestellt.

Aufbau des Grundmodells

Das Grundmodell bildet den Serienanlauf und das Jahr 2003 ohne Störungen wie Streiks oder Zuliefererengpässe ab.

3.1 Märkte und Händler

Das Modell umfasst die Märkte USA, Kanada, West Europa und einen Markt „Rest der Welt“.

Die Märkte USA und Kanada setzen sich aus folgenden PPCs zusammen:

USA		Kanada	
Name	Marktanteil	Name	Marktanteil
Brunswick	24 %	Toronto	26,4 %
Wilmington	13 %	Montreal	49,4 %
Boston	26 %	Vancouver	24,2 %
San Diego	20 %		
Houston	17 %		

Die Märkte West Europa und „Rest der Welt“ werden jeweils über einen Importeur mit 100%-Marktanteil abgebildet.

Auf dem Markt Europa wird die Ausstattungsvariante Highline verkauft. Auf den weiteren Märkten USA, Kanada und „Rest der Welt“ werden die Ausstattungsvarianten GL, GLS und GLX verkauft (siehe auch Kapitel Fahrzeugaufbau).

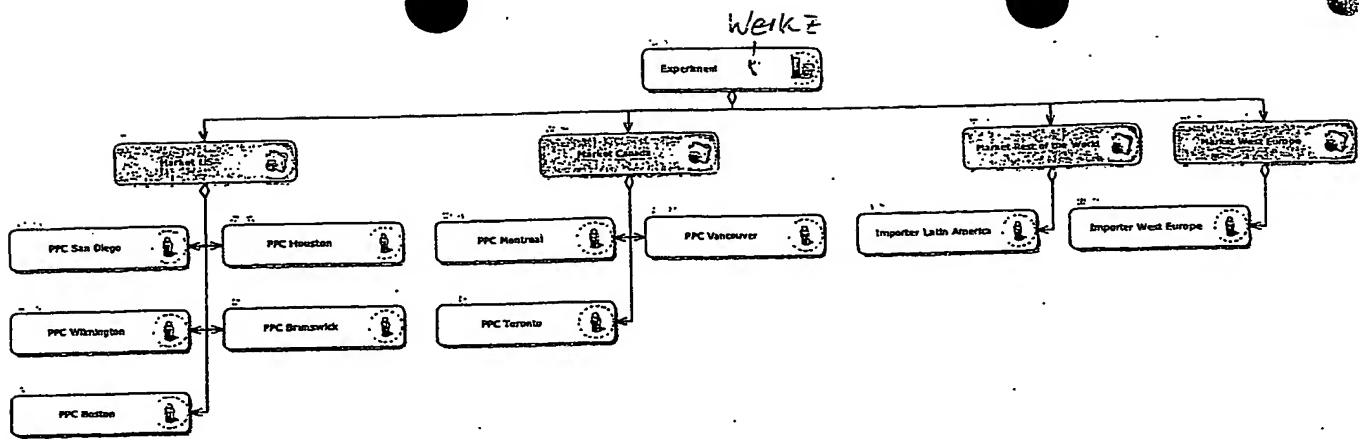


Abbildung 1: Märkte und Händler

3.2 Fahrzeugaufbau

Der Fahrzeugaufbau umfasst die modellierten Fahrzeugklassen und Ausstattungen.

3.2.1 Fahrzeugeigenschaften

Ein Fahrzeug wird in dem Modell durch je eine PR-Nummer aus den folgenden PR-Nummer-Familien beschrieben:

- ☐ Motoren
- ☐ Getriebe
- ☐ Klimaanlage
- ☐ Radio

Zusätzlich hat jedes Fahrzeug noch eine Außenfarbe. Die einzelnen PR-Nummer Familien setzen sich wie folgt zusammen:

Motoren		Getriebe			Klimaanlage		
1,4 55 kW	MN7	4-Gang	Automatik		Heizung mit mech. Regelung	9AA	
1,6 75 kW	MW6	5-Gang	Schaltgetriebe	G0C	manuelle Klimaanlage	9A0	
1,8 110 kW							
1,9							
2,0 85 kW	MR4						

Radio	Farben	Verdeck
Radio A	8AB Alaska Green	V7V7 Manuelles Verdeck
Radio B	8A0 Beige	Elektrisches Verdeck
Kein Radio	8AA Black	A1A1
	Campanellaweiß	R6R6
	Clementine2	T1T1
	Cybergreen metallic	L9L9
	Hellgrau Solid 2	
	Red	P2P2
	Reflexsilber metallic	8E8E
	Royal Navy	7W7W
	Speed Blue	V8V8
	Yukon Yellow	

3.2.2 Produktbaum

Der Produktbaum besteht aus einer Basis-Fahrzeugbeschreibung, einer Fahrzeugbeschreibung *Fahrzeug X, US*, die Gemeinsamkeiten der Ausstattungen GL, GLS und GLX zusammenfasst, einer Fahrzeugbeschreibung *Fahrzeug X, Europe* und den Ausstattungsvarianten GL, GLS, GLX und Highline.

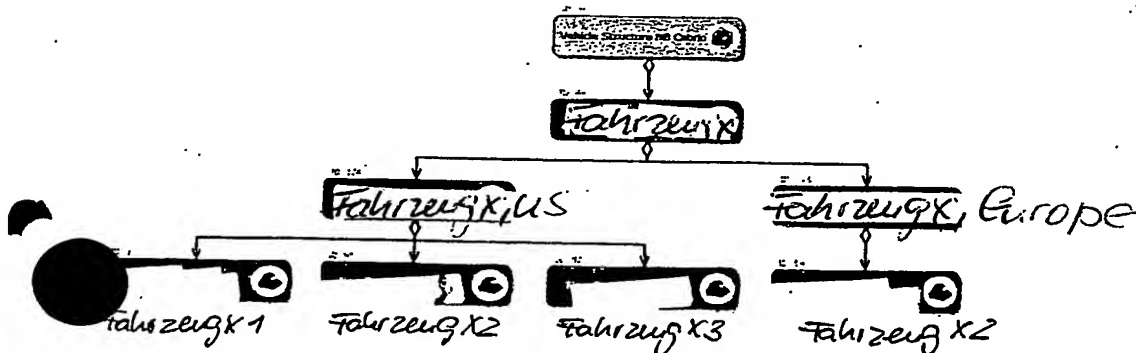


Abbildung 2: Produktbaum

Für diese Fahrzeugbeschreibungen wurden die folgenden Zwänge und Verbote definiert:

- ☐ 1,6 | Motor immer mit Schaltgetriebe
- ☐ Ausstattungsvariante GL immer mit 2,0 | Motor
- ☐ Ausstattungsvariante GLS nie mit 1,4 | Motor
- ☐ Ausstattungsvariante GLS nie mit 1,6 | Motor
- ☐ Ausstattungsvariante GLX immer mit 2,0 | Motor

3.3 Absatzplanung und Einbauraten

Für die Jahre 2002 und 2003 werden für das *Fahrzeug X* der folgende Absätze prognostiziert:

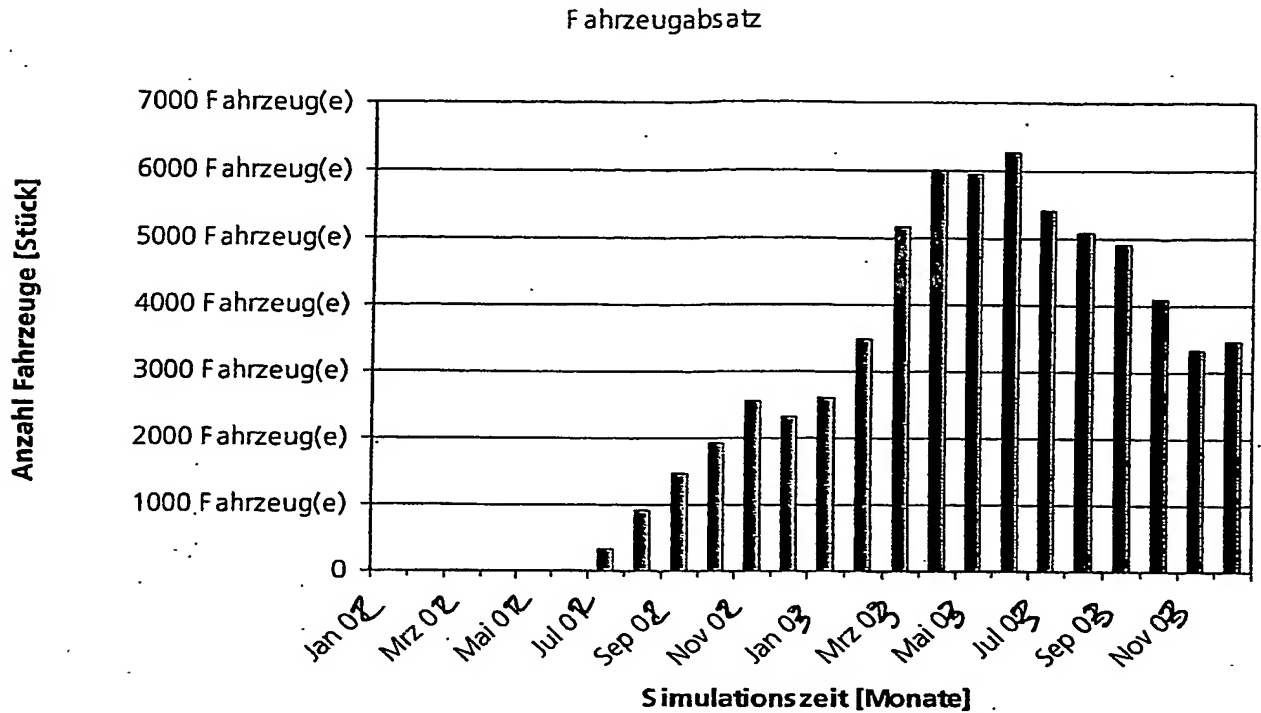


Abbildung 3: Fahrzeugabsatz

Der Anlauf des *Fahrzeuges X* beginnt in der KW die genauen Absatzdaten:

Fahrzeugabsatz	
Jan 01	0
Feb 01	0
Mrz 01	0
Apr 01	0
Mai 01	0
Jun 01	10 Fahrzeug(e)
Jul 01	335 Fahrzeug(e)
Aug 01	915 Fahrzeug(e)
Sep 01	1470 Fahrzeug(e)
Okt 01	1922 Fahrzeug(e)
Nov 01	2553 Fahrzeug(e)
Dez 01	2325 Fahrzeug(e)
Jan 02	2609 Fahrzeug(e)
Feb 02	3487 Fahrzeug(e)
Mrz 02	5169 Fahrzeug(e)

Apr 02	6004 Fahrzeug(e)
Mai 02	5952 Fahrzeug(e)
Jun 02	6271 Fahrzeug(e)
Jul 02	5414 Fahrzeug(e)
Aug 02	5084 Fahrzeug(e)
Sep 02	4915 Fahrzeug(e)
Okt 02	4093 Fahrzeug(e)
Nov 02	3328 Fahrzeug(e)
Dez 02	3459 Fahrzeug(e)

Dieser Fahrzeugabsatz wird im Modell zunächst auf die beiden Fahrzeugbeschreibungen „*Fahrzeug X*“, „*USA*“ und „*Europe*“ aufgeteilt. Diese anteiligen Fahrzeugabsätze haben den folgenden Verlauf: *Fahrzeug X*,

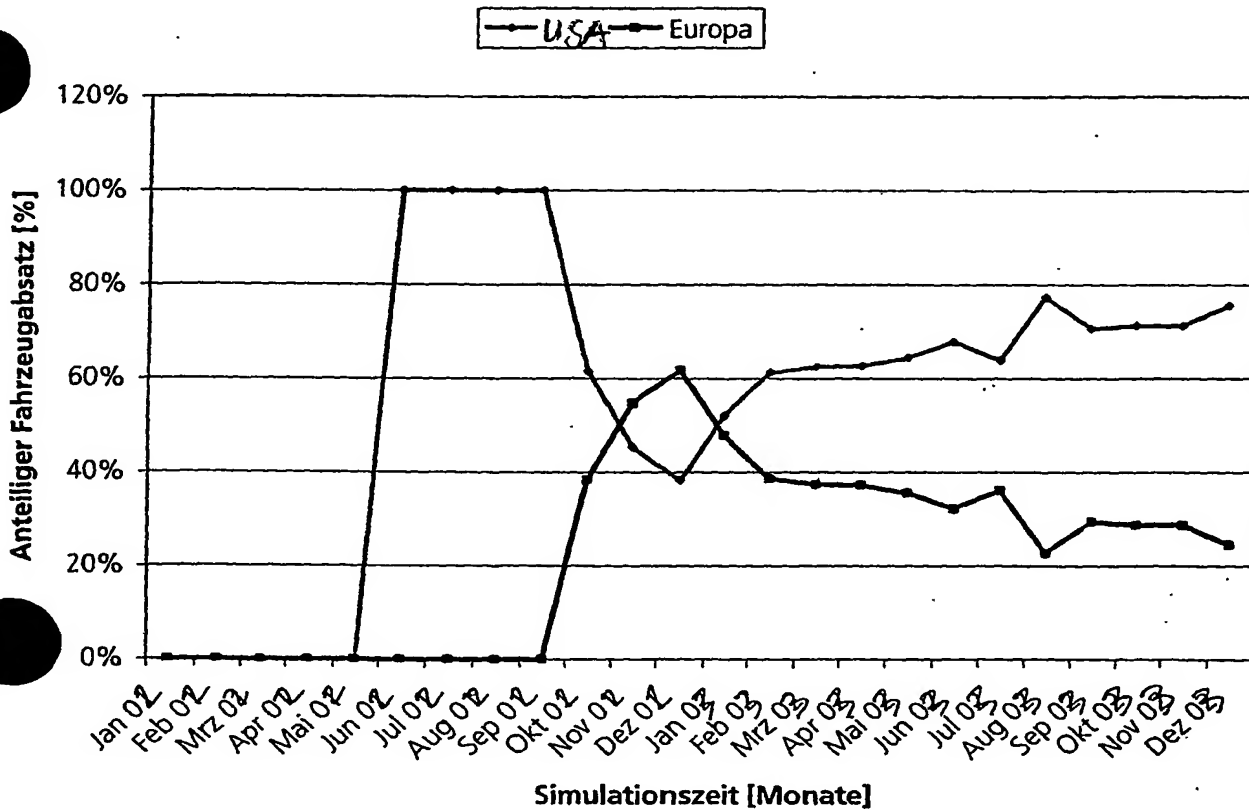


Abbildung 4: Anteilige Fahrzeugabsätze für Nord-Amerika und Europa

	USA	Europa
Jan 01	0,00%	0,00%
Feb 01	0,00%	0,00%
Mrz 01	0,00%	0,00%
Apr 01	0,00%	0,00%
Mai 01	0,00%	0,00%

Jun 01	100,00%	0,00%
Jul 01	100,00%	0,00%
Aug 01	100,00%	0,00%
Sep 01	100,00%	0,00%
Okt 01	61,55%	38,45%
Nov 01	45,36%	54,64%
Dez 01	38,24%	61,76%
Jan 02	52,01%	47,99%
Feb 02	61,28%	38,72%
Mrz 02	62,55%	37,45%
Apr 02	62,69%	37,31%
Mai 02	64,38%	35,62%
Jun 02	67,79%	32,21%
Jul 02	63,87%	36,13%
Aug 02	77,34%	22,66%
Sep 02	70,56%	29,44%
Okt 02	71,27%	28,73%
Nov 02	71,24%	28,76%
Dez 02	75,51%	24,49%

x Fahrzeug x
 * Fahrzeug x, GLS

Die Fahrzeugbeschreibung „x Europe“ bzw. die untergeordnete Fahrzeugbeschreibung Highline wird zu 100% auf dem Markt Europa abgesetzt. Die Fahrzeugbeschreibung „x1 3“ und die untergeordneten Ausstattungsvarianten GL, GLS und GLX werden mit der folgenden Verteilung auf den Märkten USA, Kanada und „Rest der Welt“ abgesetzt.

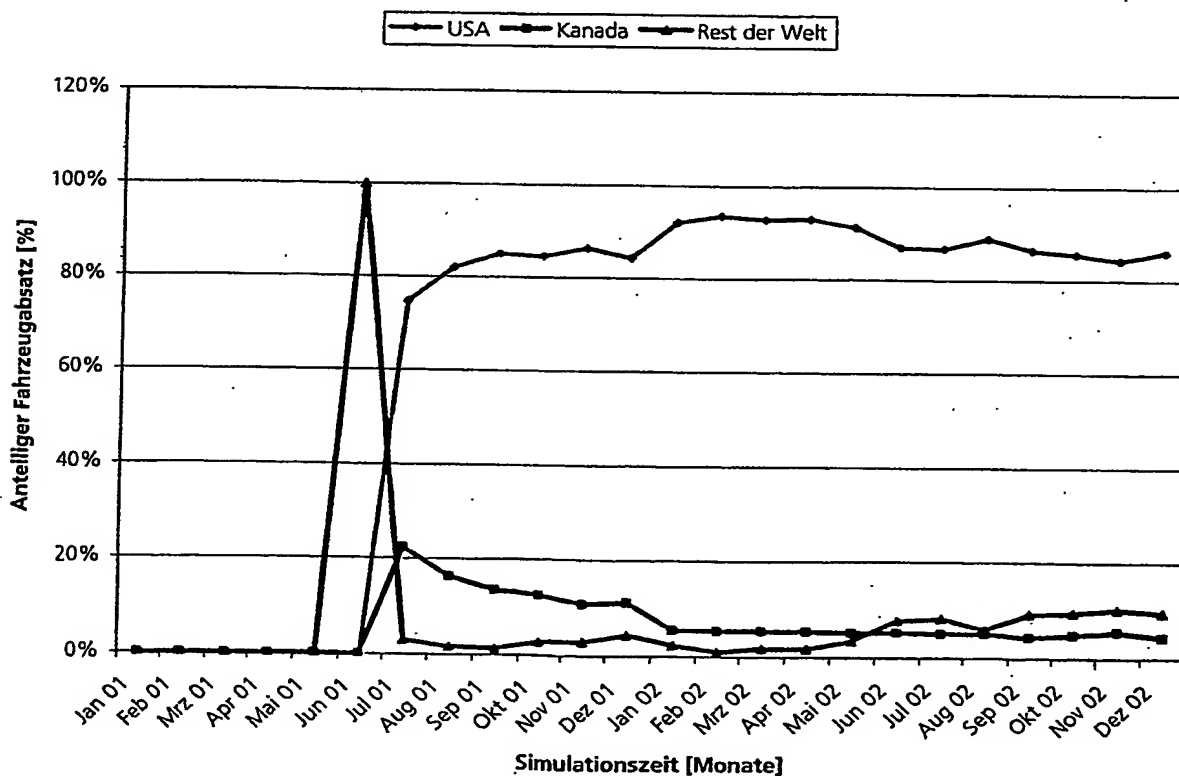


Abbildung 5: Anteilige Fahrzeugabsätze für die USA, Kanada und den Markt Rest der Welt

	USA	Kanada	Rest der Welt
Jan 01	0,00%	0,00%	0,00%
Feb 01	0,00%	0,00%	0,00%
Mrz 01	0,00%	0,00%	0,00%
Apr 01	0,00%	0,00%	0,00%
Mai 01	0,00%	0,00%	0,00%
Jun 01	0,00%	0,00%	100,00%
Jul 01	74,63%	22,39%	2,99%
Aug 01	81,97%	16,39%	1,64%
Sep 01	85,03%	13,61%	1,36%
Okt 01	84,53%	12,68%	2,79%
Nov 01	86,36%	10,79%	2,85%
Dez 01	84,36%	11,25%	4,39%
Jan 02	92,11%	5,53%	2,36%
Feb 02	93,59%	5,38%	1,03%
Mrz 02	92,79%	5,41%	1,79%
Apr 02	92,99%	5,31%	1,70%
Mai 02	91,34%	5,22%	3,44%
Jun 02	87,04%	5,29%	7,67%
Jul 02	86,76%	5,06%	8,18%
Aug 02	89,01%	5,09%	5,90%
Sep 02	86,51%	4,33%	9,17%
Okt 02	85,70%	4,80%	9,50%
Nov 02	84,35%	5,48%	10,16%
Dez 02	86,14%	4,40%	9,46%

Für die Ausstattungsvarianten GL, GLS und GLX wird die folgende, konstante Verteilung angenommen:

- ☐ GL: 10 % des Absatzes der Fahrzeugbeschreibung „
 - ☐ GLS: 65 % des Absatzes der Fahrzeugbeschreibung
 - ☐ GLX: 15 % des Absatzes der Fahrzeugbeschreibung „
- } Fahrzeugx

3.4 Werk 1 y

3.4.1 Werkskapazität

Für das Werk 1 y wird angenommen, dass Montags bis Freitags in zwei Schichten und Samstags in einer Schicht a 7 Stunden gearbeitet wird.

Folgende Tage sind Arbeitsfrei (Feiertage oder Werksferien):

01.Jan.2002 KW 1	05.Mai.2001 KW 18	20.Jul.2001 KW 29	24.Dez.2001 KW 52
25.Mrz.2002 KW 13	10.Mai.2001 KW 19	15.Sep.2001 KW 37	25.Dez.2001 KW 52
26.Mrz.2001 KW 13	11.Mai.2001 KW 19	16.Sep.2001 KW 37	26.Dez.2001 KW 52
27.Mrz.2001 KW 13	15.Jul.2001 KW 28	28.Sep.2001 KW 39	27.Dez.2001 KW 52
28.Mrz.2001 KW 13	16.Jul.2001 KW 29	01.Nov.2001 KW 44	28.Dez.2001 KW 52
29.Mrz.2001 KW 13	17.Jul.2001 KW 29	02.Nov.2001 KW 44	29.Dez.2001 KW 52
30.Mrz.2001 KW 13	18.Jul.2001 KW 29	12.Dez.2001 KW 50	30.Dez.2001 KW 52
01.Mai.2001 KW 18	19.Jul.2001 KW 29	23.Dez.2001 KW 51	31.Dez.2001 KW 53

Die anteilige Werksausbringung im Modell wurde so eingestellt, dass die Werksauslastung im Modell bezogen auf das ! *Fahrzeug x* im Durchschnitt 85% beträgt.

3.4.2 Durchlaufzeit

3.5 Distribution

Die Distribution wurde wie folgt abgebildet:

- ☐ Fahrzeuge nach Europa werden zuerst nach **¹* transportiert (Dauer ca. 1 Woche). Von dort erfolgt der Versand per Schiff nach *** (Dauer ca. 3 Wochen). In *** werden die Fahrzeuge abschließend ca. eine Woche gelagert. Die Distribution innerhalb Europas wird nicht weiter betrachtet.
- ☐ *US Distribution:* ** Hafen, Deutschland*
** Hafen, Libeisee*
- ☐ Fahrzeuge die in den Markt „Rest der Welt“ geliefert werden, gehen beispielhaft nach Latein-Amerika (Dauer ca. 2 Wochen).

Die Transporte erfolgen *jeweils nach Bedarf*. Die Kapazität der Transporte ist nicht limitiert. *2*
täglich

3.6 Prozesssteuerung

Die Parameter für die Prozesssteuerung werden wie folgt angenommen:

- ☐ FU1 (Werkszuordnung): 28 Kalendertage vor ZP8
- ☐ Tagesauflösung (Aufteilung der Aufträge auf Tage): 28 Kalendertage vor ZP8
- ☐ FU2 (Übergabe in die Fertigung): 14 Kalendertage vor ZP8
- ☐ FU1 und FU2 finden wöchentlich statt
- ☐ Prognosen werden monatlich erstellt

- ☐ Volumenvereinbarungen werden monatlich erstellt
- ☐ Händlerbestellungen finden wöchentlich statt

Bei der Tagesprogrammbildung wird für die Verwirbelung der Auftragsreihenfolge folgende Wahrscheinlichkeitsverteilung angenommen:

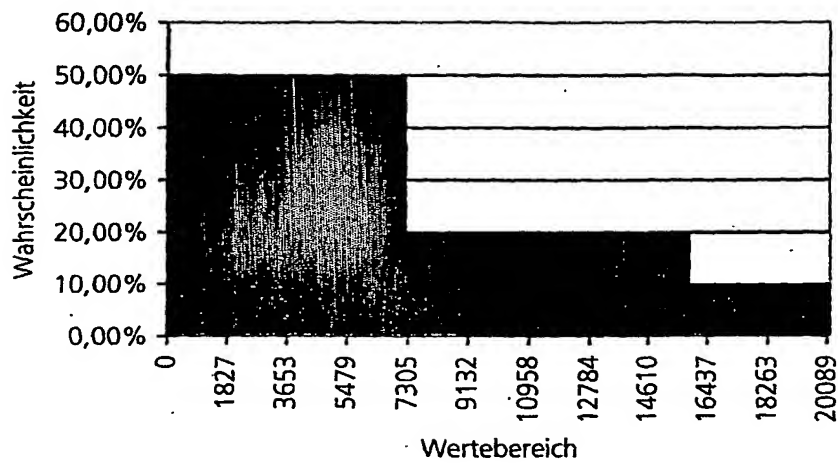


Abbildung 6: Verwirbelung bei der Tagesprogrammbildung

3.7 Ergebnisse des Grundmodells

Das Grundmodell führt (ohne weitere Modifikationen) zu folgenden Ergebnissen:

3.7.1 Durchlaufzeiten

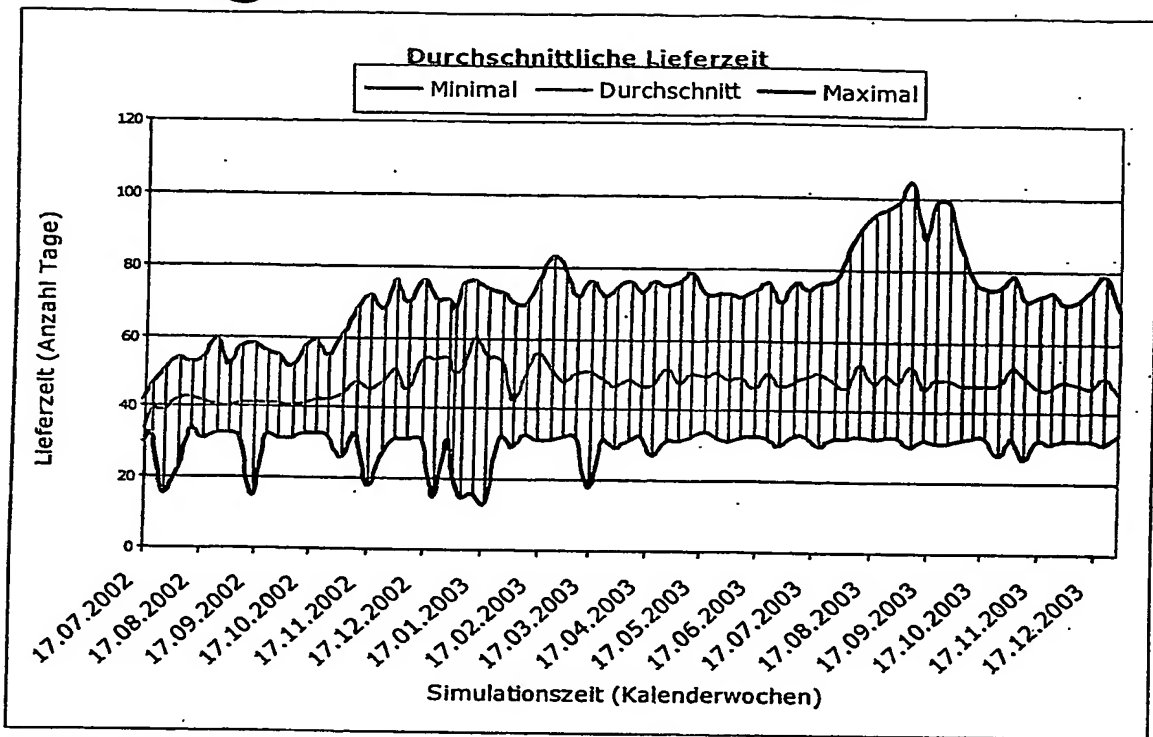


Abbildung 7: Durchschnittliche, minimale und maximale Lieferzeit

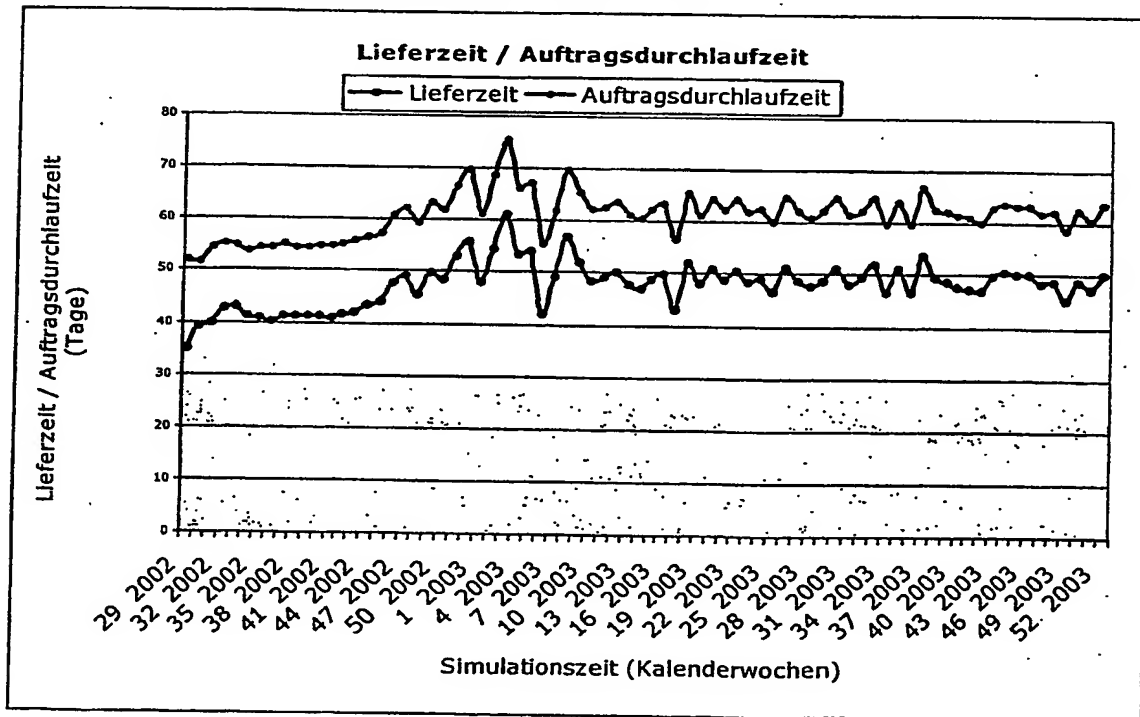


Abbildung 8: Durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit

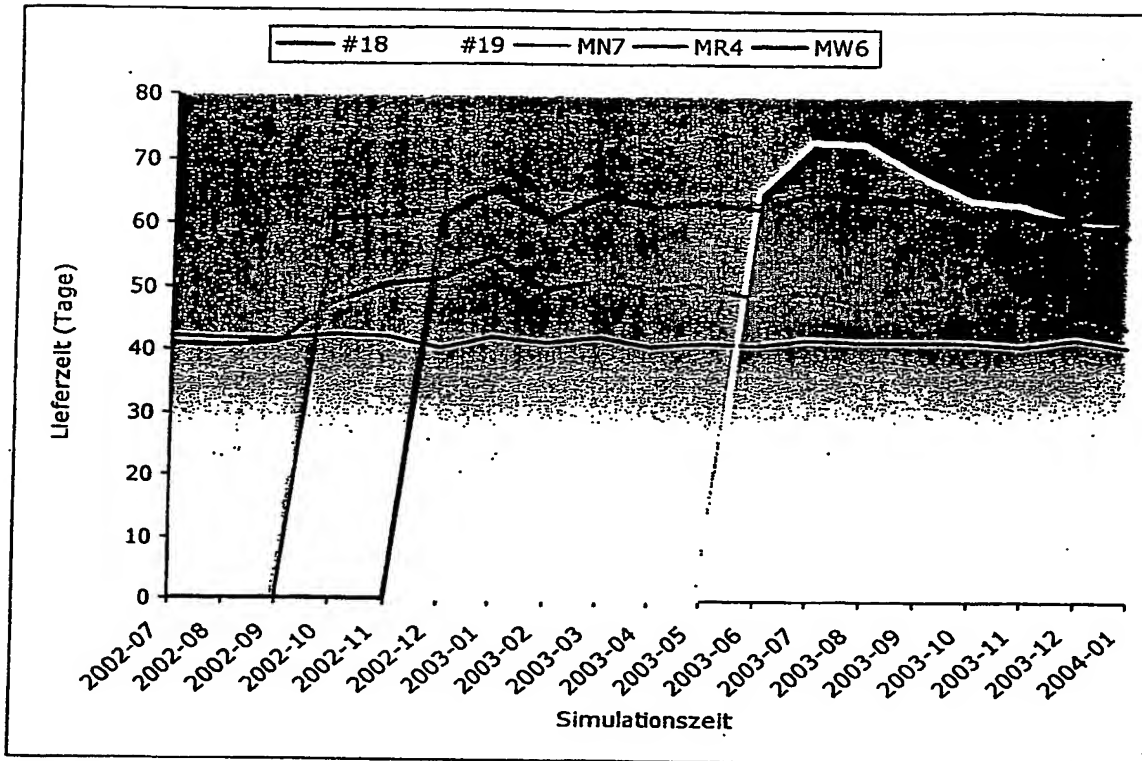
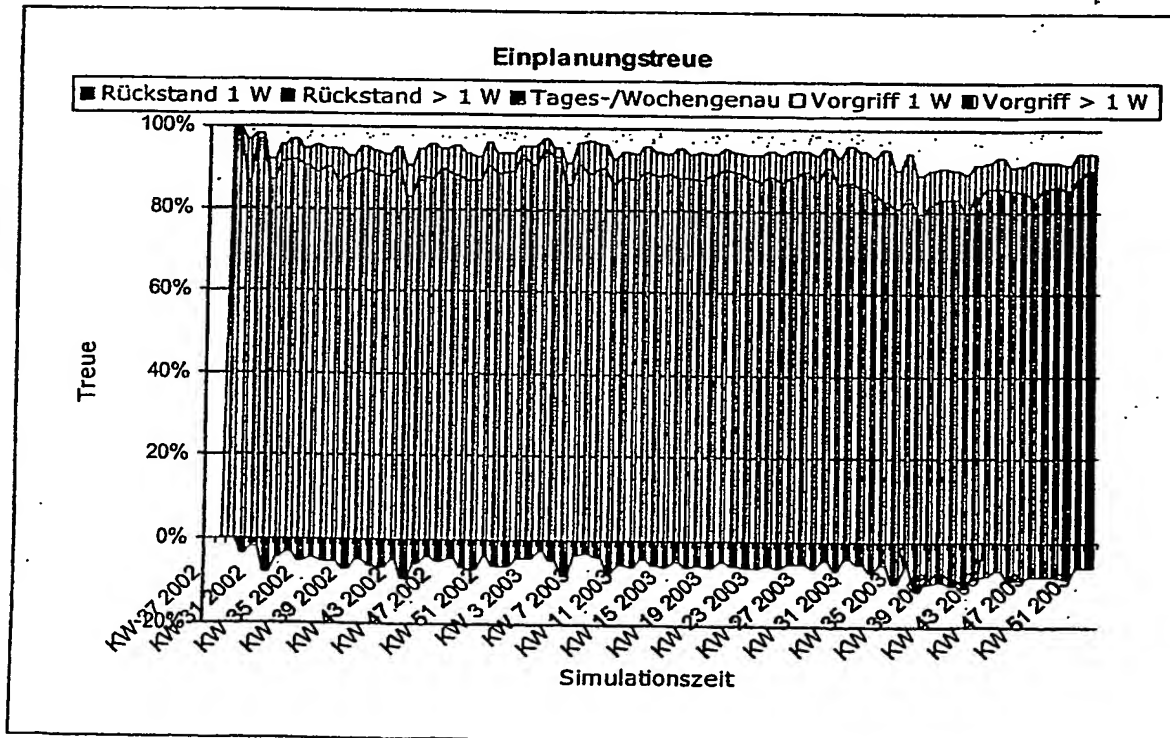


Abbildung 9: Lieferzeit für Fahrzeuge mit einem bestimmten Motor.

3.7.2 Treuewerte



Wochenprogrammtreue

■ Rückstand 1 W ■ Rückstand > 1 W ■ Tages-/Wochengenau □ Vorgriff 1 W ■ Vorgriff > 1 W

Y-axis: Treue (Percentage)

X-axis: Simulationszeit (Time)

Legend:

- Rückstand 1 W
- Rückstand > 1 W
- Tages-/Wochengenau
- Vorgriff 1 W
- Vorgriff > 1 W

Abbildung 12: ZP8-Treue

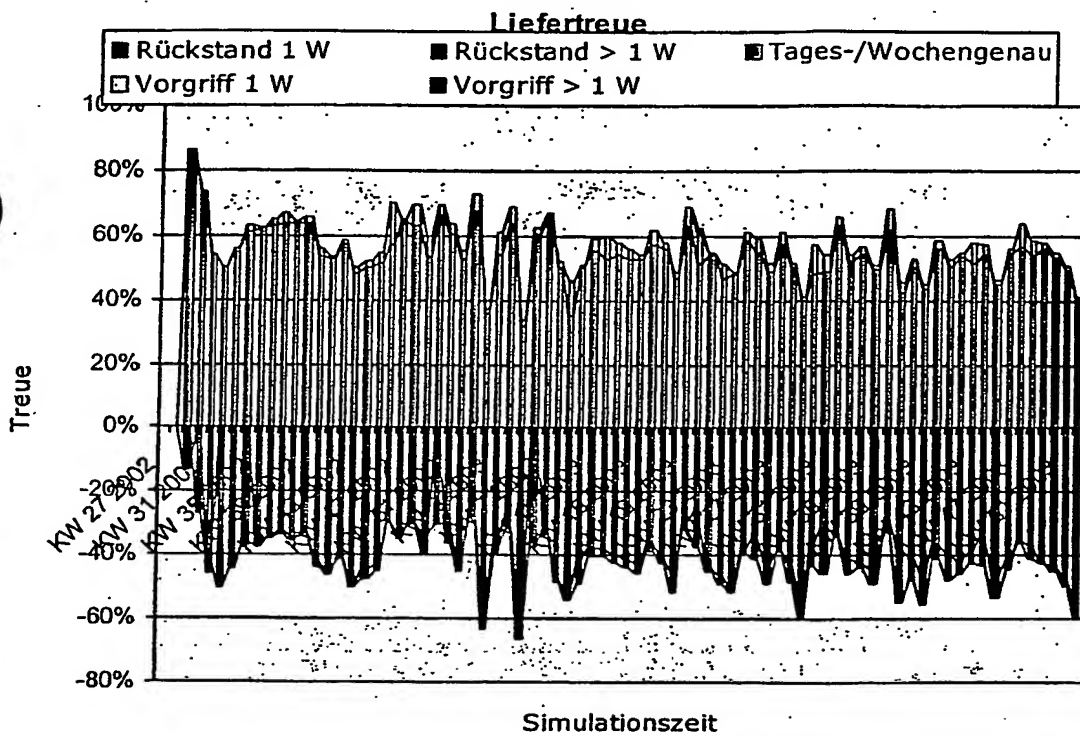


Abbildung 13: Liefertreue

3.7.3 Bestände

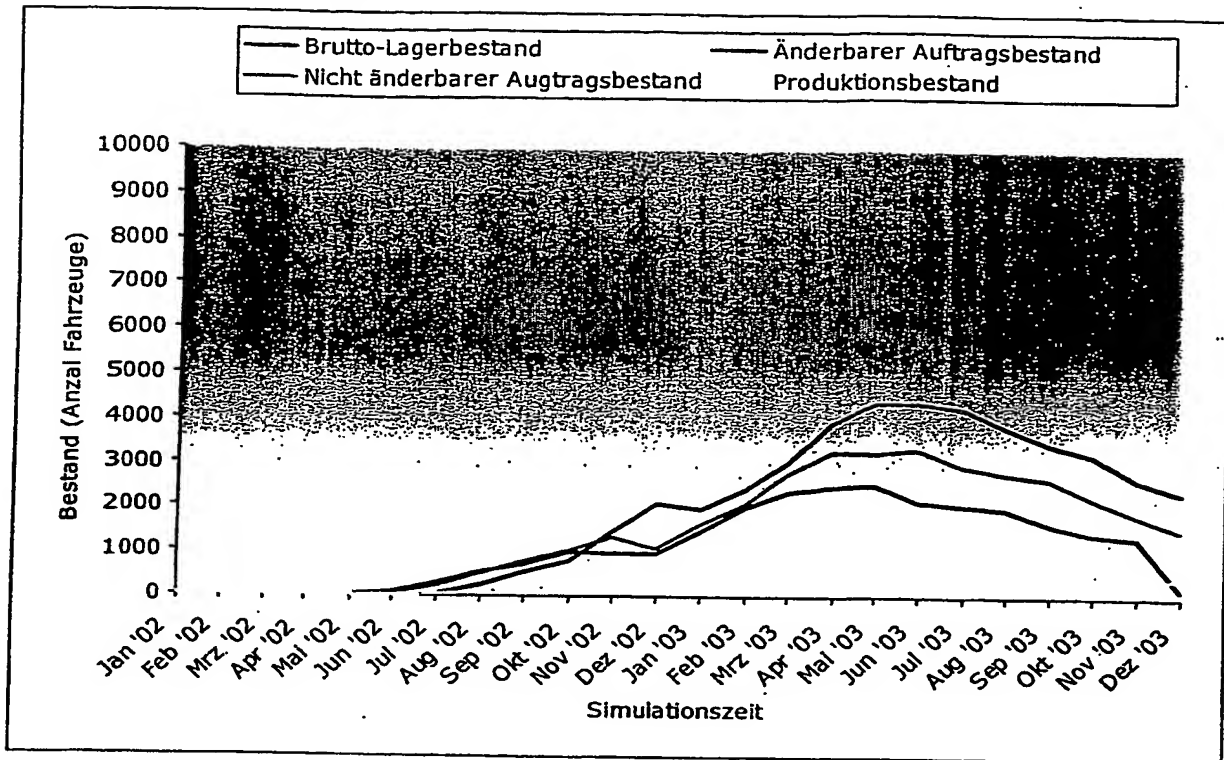


Abbildung 14: Bestände

4 Szenarien

Auf Basis des Grundmodells wurden verschiedene Szenarien entwickelt.

4.1 Szenario 1: Zu pessimistisches Prognose

Im Grundmodell wird die Annahme getroffen, dass die prognostizierten Absätze tatsächlich als Ist-Absätze eintreffen.

Im diesem Szenario wird diese Annahme verworfen. Es wird untersucht, welche Auswirkungen eine zu pessimistische Prognose auf den Prozess hat.

Das Modell wird für dieses Szenario so erweitert, dass die Ist-Absätze die prognostizierten Absätze insgesamt um 20% übertreffen.

4.1.1 Modellanpassungen

TODO: ERWEITERUNGEN DES MODELLS FÜR DAS SZENARIO

Verlauf Plan / Ist

4.1.2 Ergebnisse

4.2 Szenario 2: Zu optimistische Prognose

In diesem Szenario werden die Auswirkungen untersucht, die eine zu optimistische Prognose auf den Prozess hat.

Das Modell wird für dieses Szenario so erweitert, dass die prognostizierten Absätze insgesamt 20% über dem Ist-Absatz liegen.

4.2.1 Modellanpassungen

Verlauf Plan / Ist

4.2.2 Ergebnisse

4.3 Szenario 3: Streik im Werk Puebla

Dieses Szenario bildet einen Streik im Werk Puebla ab. Der Streik beginnt am 01. März 2003 und dauert insgesamt 10 Tage.

Es werden zwei Varianten des Szenarios untersucht. In der ersten Variante werden die Auswirkungen des Streiks ohne Gegenmaßnahmen untersucht. In der zweiten Variante, werden frühzei-

ggf Streik verschieben

tig weniger Aufträge eingeplant. Dafür wird die Annahme getroffen, dass der Streik rechtzeitig bekannt war.

→ Weitere Gegenmaßnahmen?

4.3.1 Modellanpassungen

Der Streik wird durch eine Störung der Werkskapazität abgebildet.

Variante 1: Der Streik tritt auf, es werden keine Gegenmaßnahmen ergriffen

Variante 2: Nach 10 Tagen sind 1165 Fahrzeuge verspätet. Als Reaktion auf den Streik wird in der Simulation die Soll-Ausbringung im März um diese 1165 Fahrzeuge reduziert! => Der Streik ist rechtzeitig vorher bekannt.

4.3.2 Ergebnisse

Ergebnisse der Variante 1 (Streik ohne Gegenmaßnahmen):

4.3.2.1 Durchlaufzeiten Variante 1

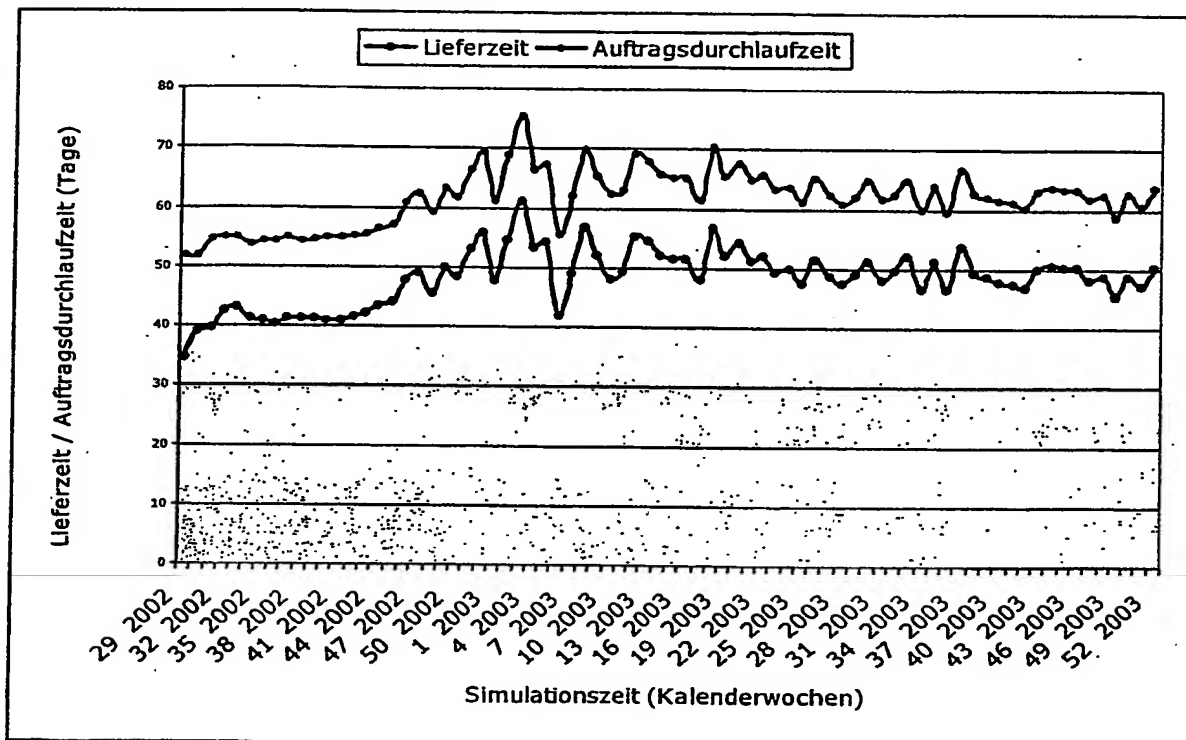


Abbildung 15: Durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit

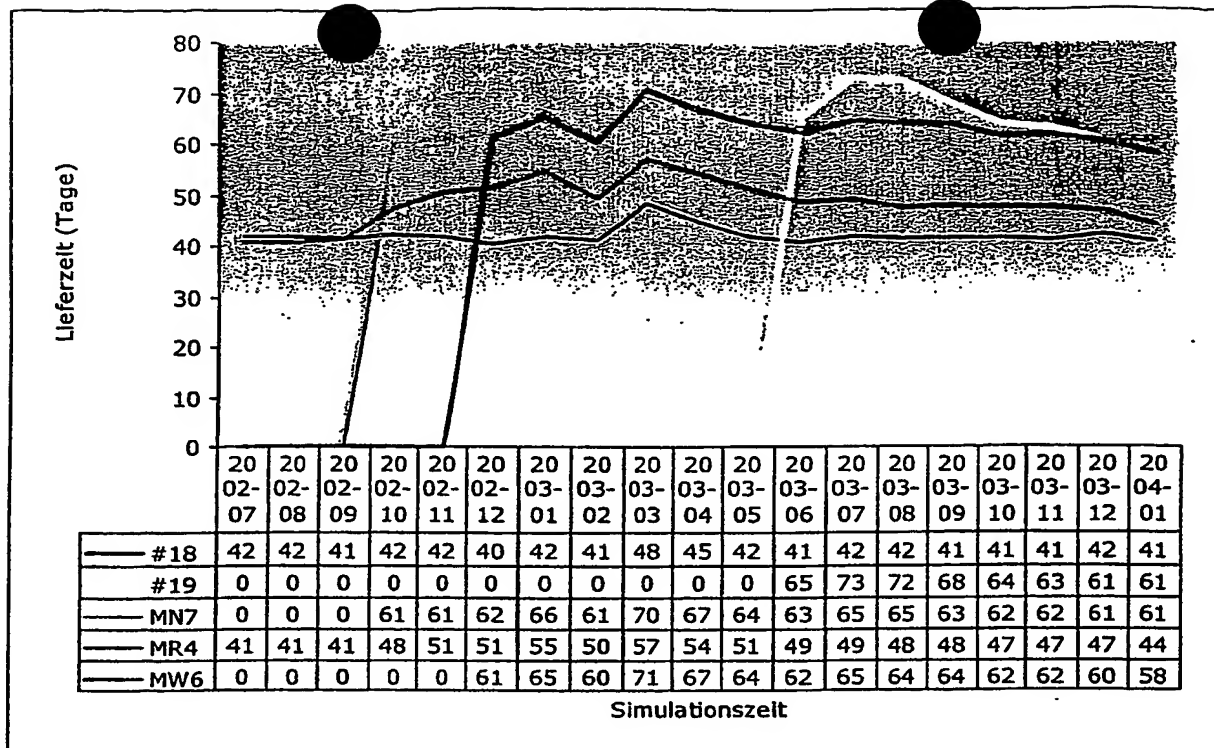


Abbildung 16: Lieferzeit für Fahrzeuge mit einem bestimmten Motor

4.3.2.2 Treuewerte Variante 1

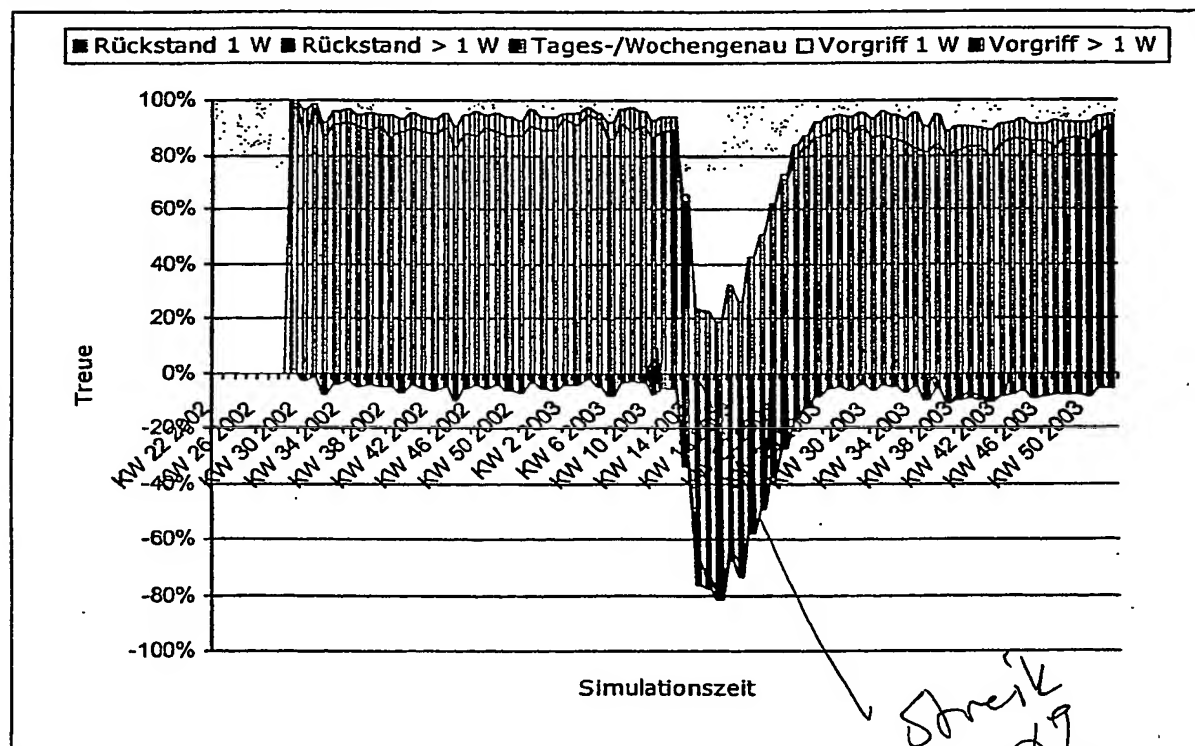


Abbildung 17: Einplanungstreue

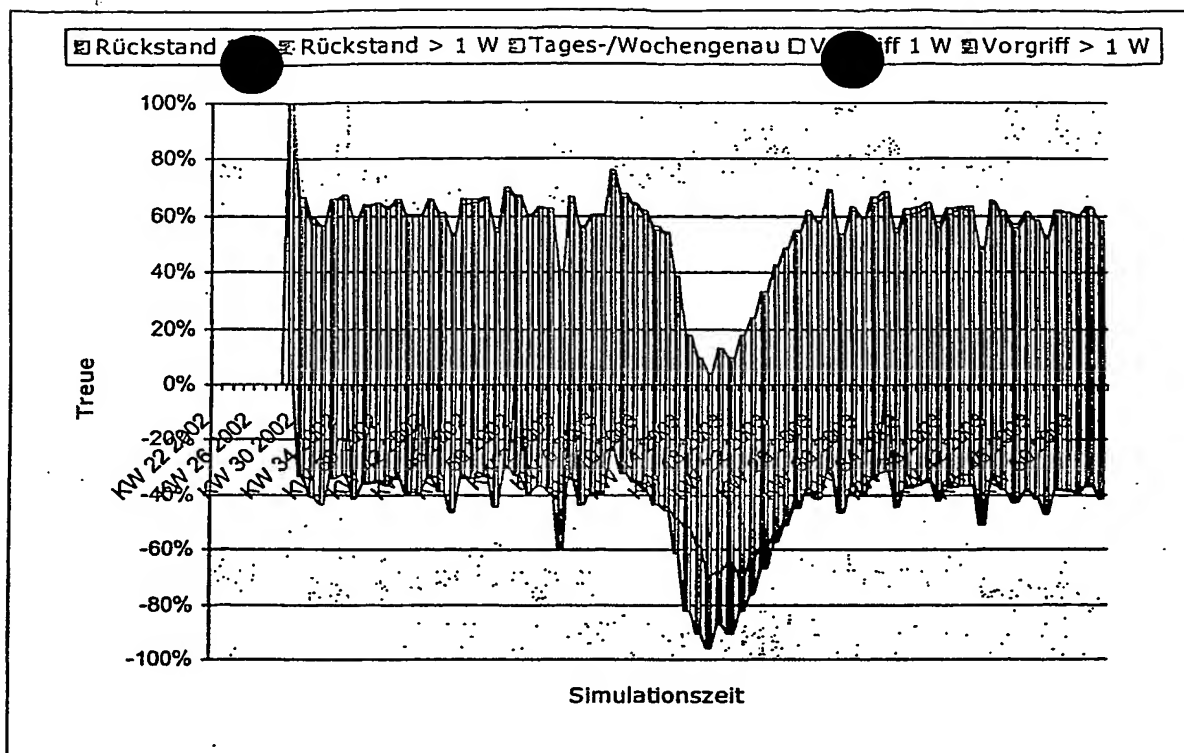


Abbildung 18: Wochenprogrammtreue

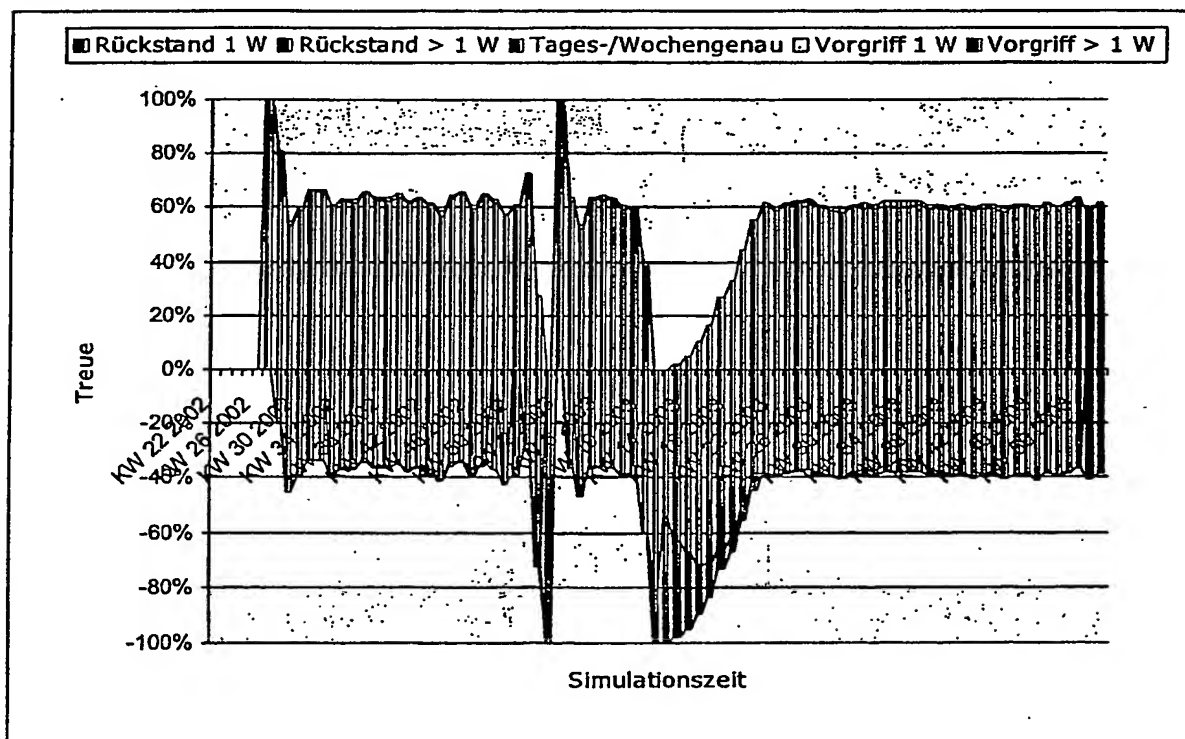


Abbildung 19: ZP8-Treue

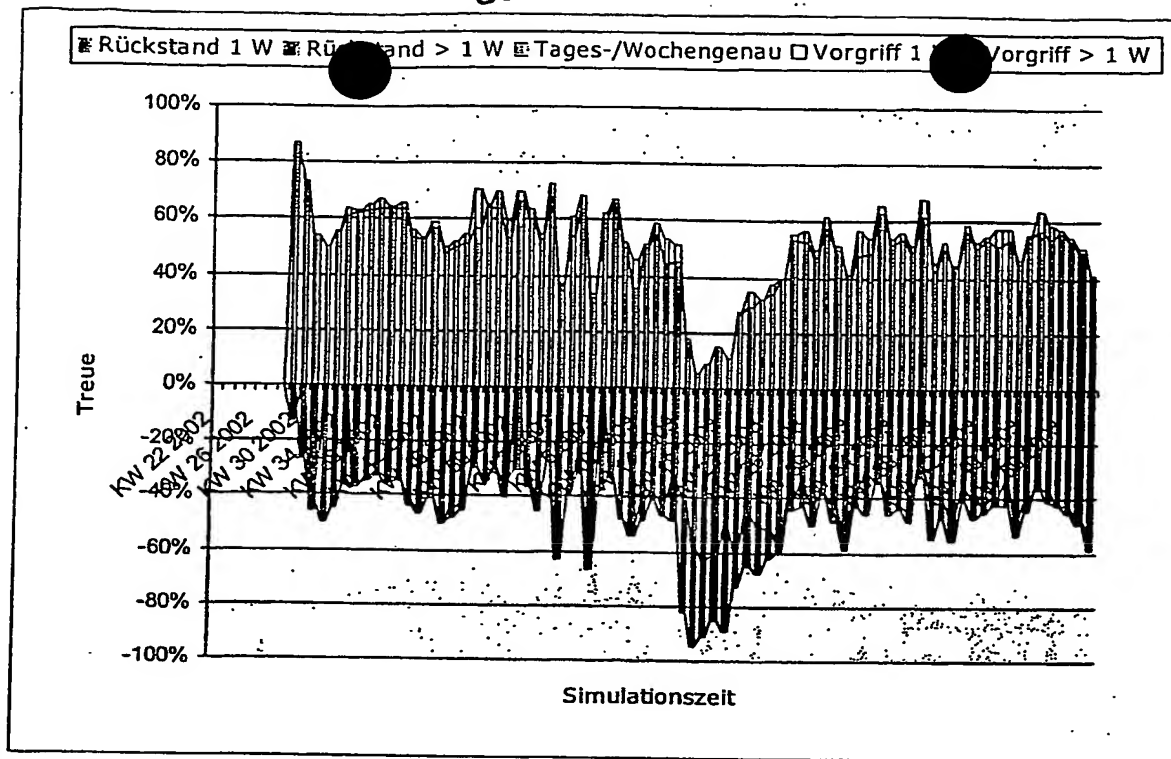


Abbildung 20: Liefertreue

4.3.2.3 Bestände Variante 1

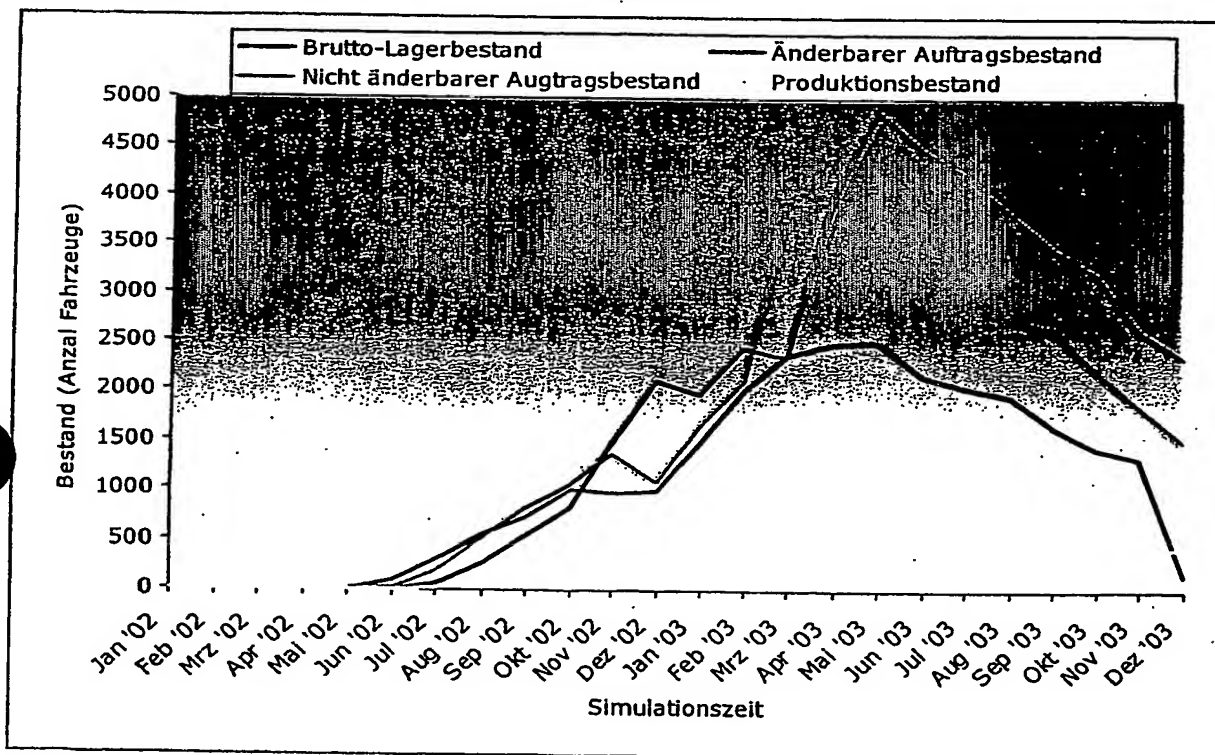


Abbildung 21: Bestände

Ergebnisse der Variante 2 (Reduzierung der Soll-Ausbringung):

4.3.2.4 Durchlaufzeiten Variante 2

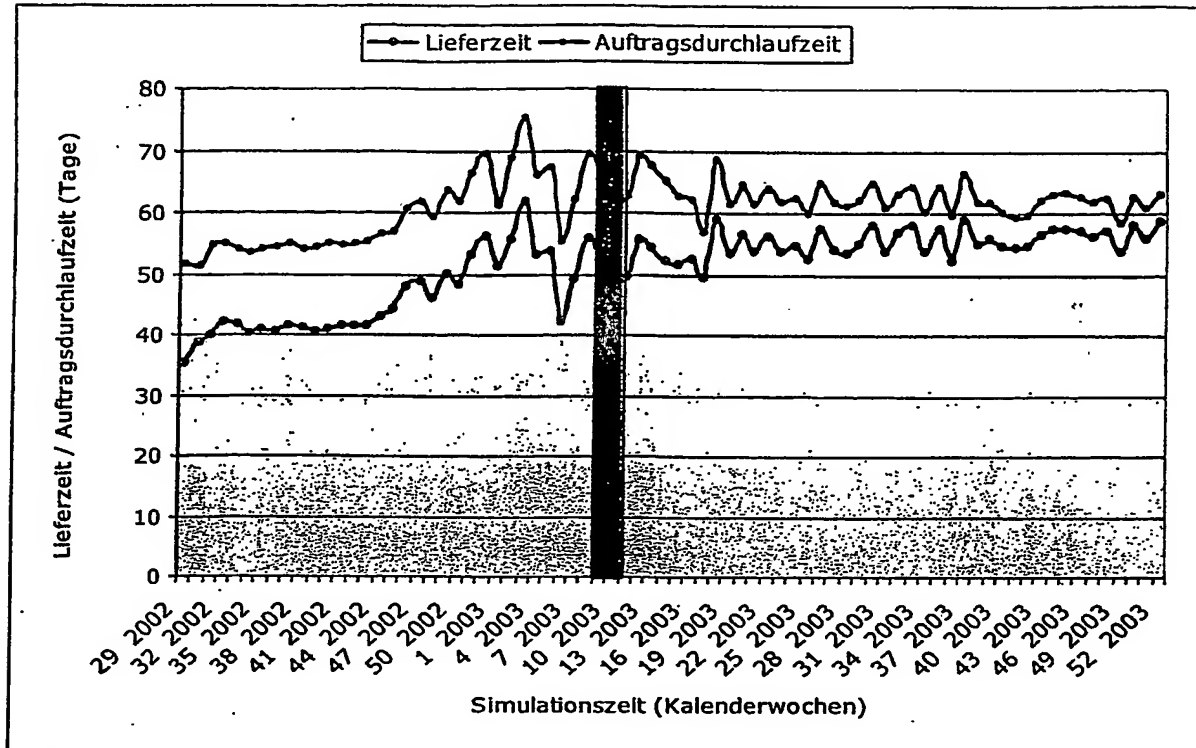


Abbildung 22: Durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit

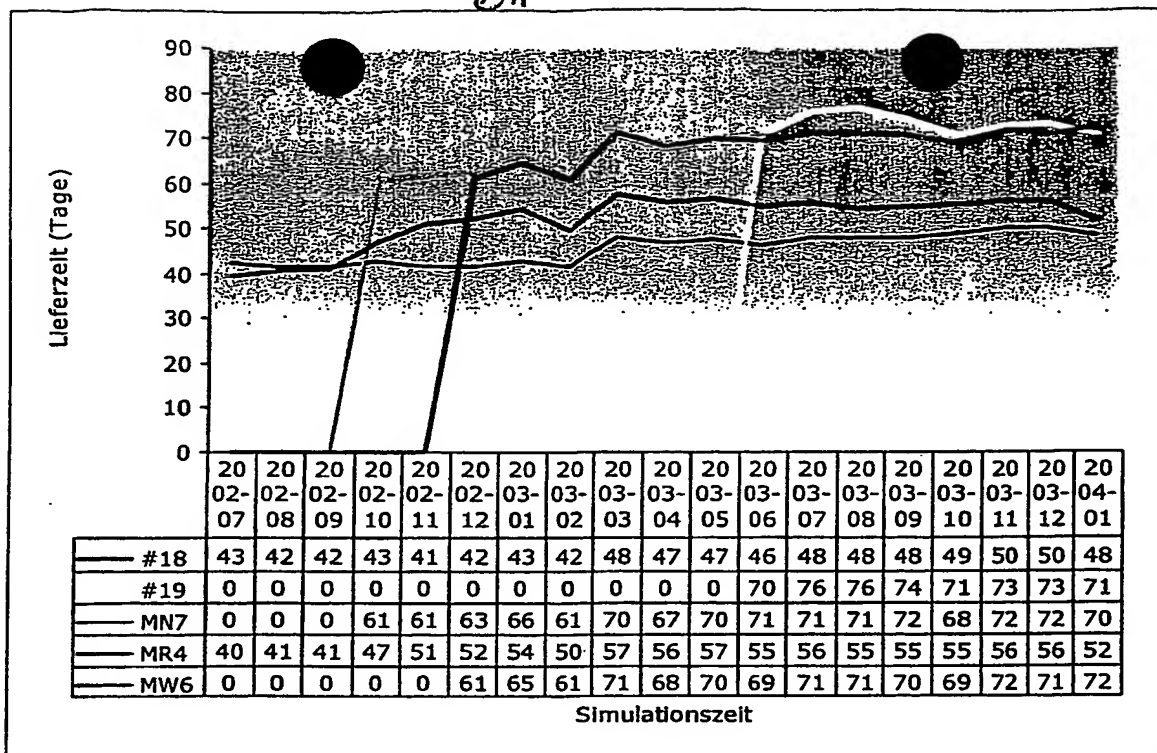


Abbildung 23: Lieferzeit für Fahrzeuge mit bestimmtem Motor

4.3.2.5 Treuewerte Variante 2

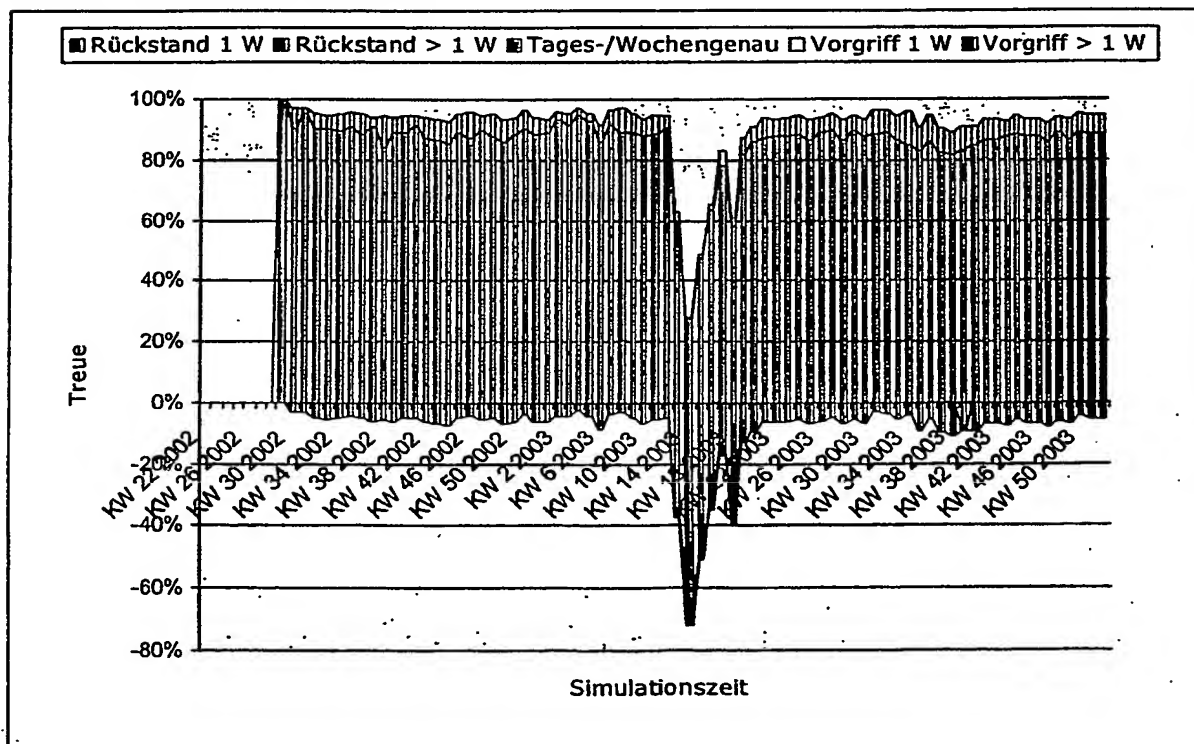


Abbildung 24: Einplanungstreue

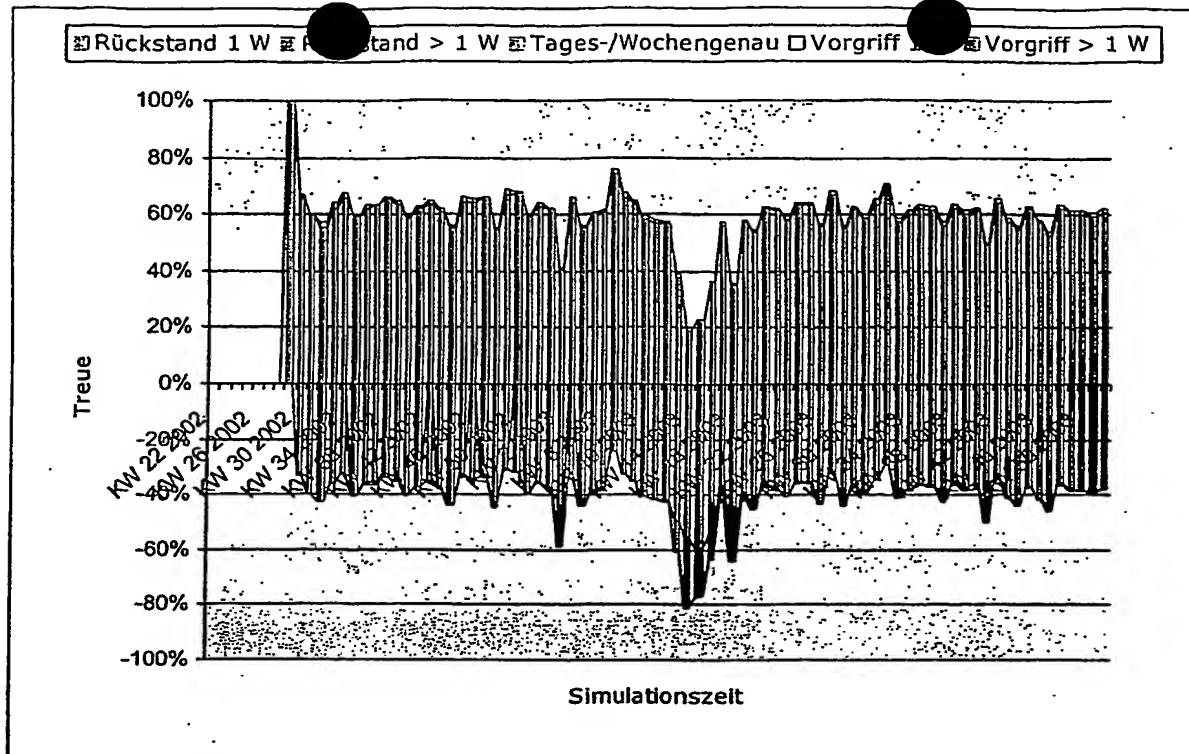


Abbildung 25: Wochenprogrammtreue

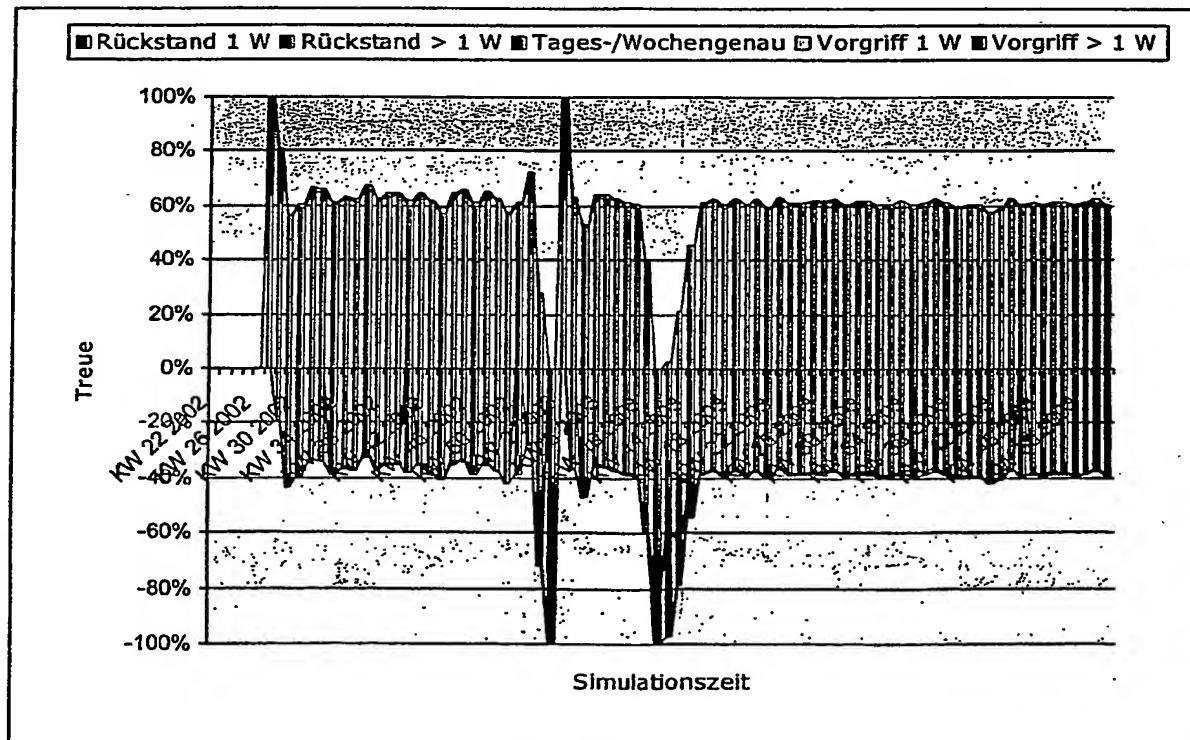


Abbildung 26: ZP8-Treue

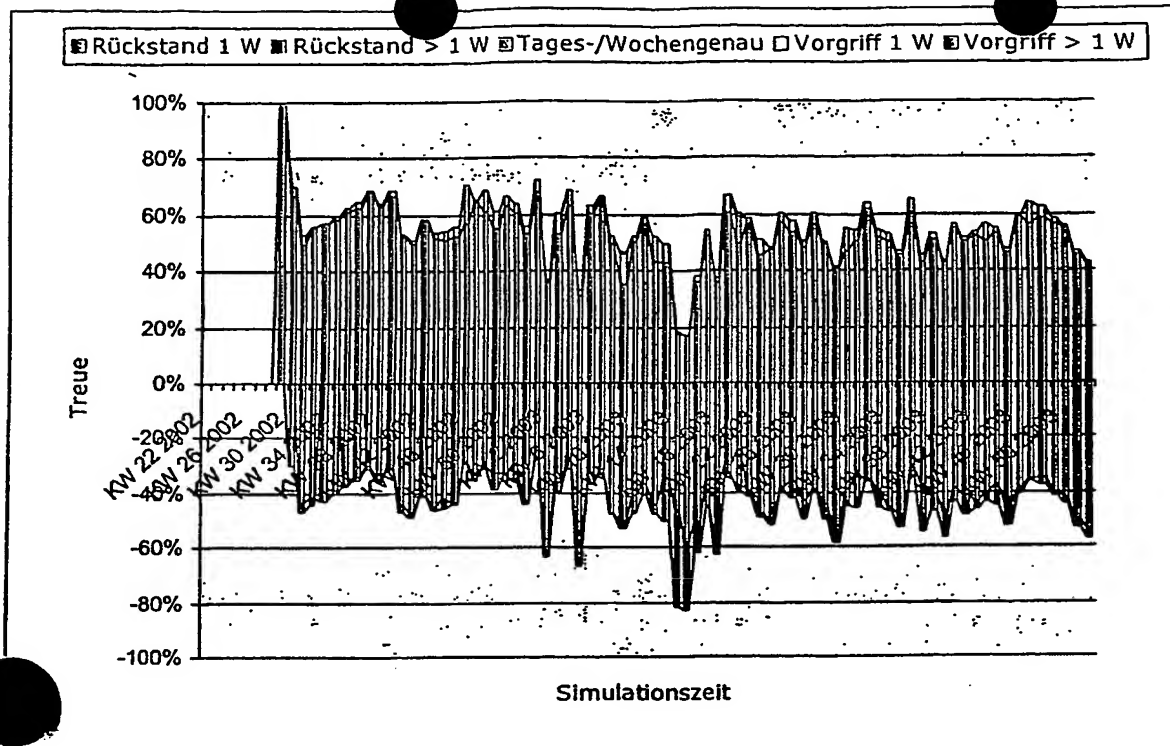


Abbildung 27: Liefertreue

4.3.2.6 Bestände Variante 2

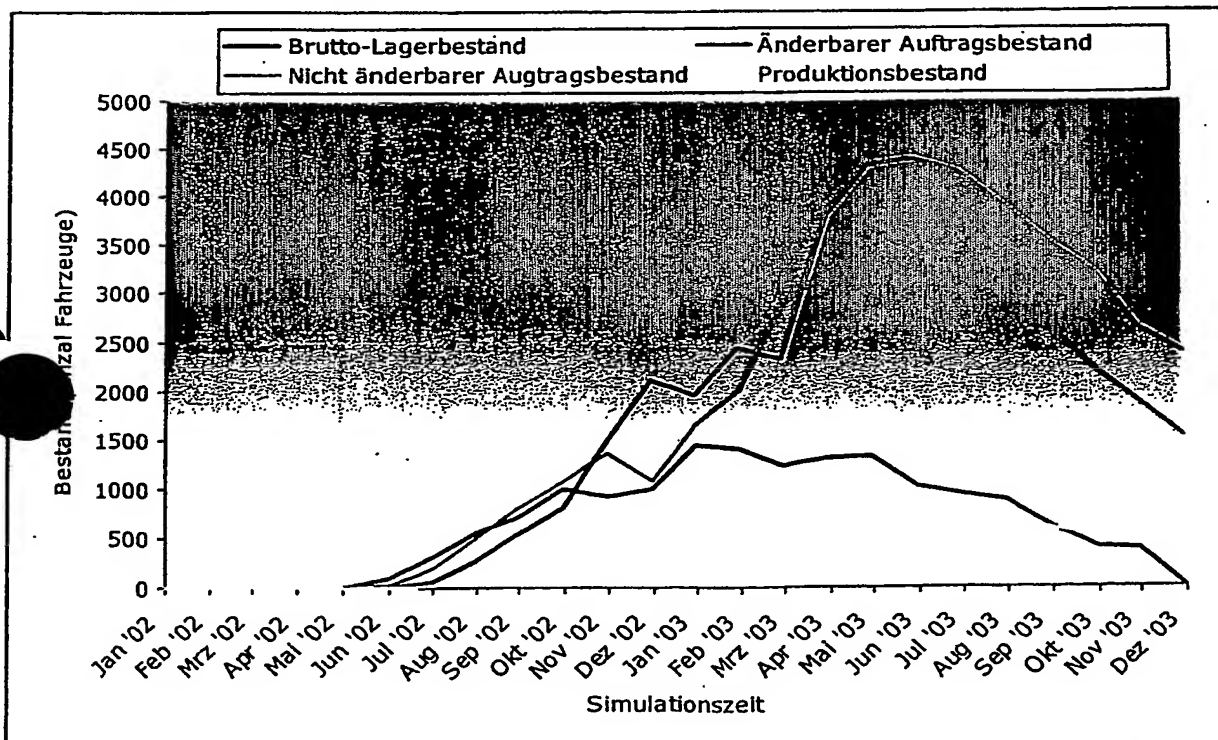


Abbildung 28: Bestände

Patentansprüche

1. Verfahren zur Simulation von Auftragabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere der Herstellung von Kraftfahrzeugen, gekennzeichnet durch mindestens ein in den Anmeldeunterlagen offenbartes Merkmal.
2. Vorrichtung zur Simulation von Auftragabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere der Herstellung von Kraftfahrzeugen, mit einer zentralen Verarbeitungseinrichtung, gekennzeichnet durch mindestens ein in den Anmeldeunterlagen offenbartes Merkmal.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.